

INGENIEURMODELL FÜR DAS VERBUNDSYSTEM STAHLBETON + KLEBELASCHE

TEIL 2

DYNAMISCHE GRUNDVERSUCHE AN DURCH ANGEKLEBTE STAHLASCHEN VERSTÄRKTEN STAHLBETONBALKEN

Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy
Dipl.-Ing. Ch. Hankers

Februar 1991

Forschungsbericht
Gefördert von der Stiftung Volkswagenwerk

B I B L I O T H E K

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52

D-3300 Braunschweig

INHALTSVERZEICHNIS

- 1. Einleitung
- 2. Versuchsprogramm der dynamischen Grundversuche
- 3. Baustoffe
 - 3.1 Beton
 - 3.2 Betonstahl
 - 3.3 Laschenstahl
 - 3.4 Klebstoff
- 4. Herstellung der Versuchsbalken
- 5. Rechenwerte der Versuchsbalken
 - 5.1 Biegetragfähigkeit
 - 5.2 Schubtragfähigkeit
 - 5.3 Ermittlung der Verankerungslänge der Lasche
- 6. Versuchsdurchführung
 - 6.1 Versuchseinrichtung und Belastung
 - 6.2 Meßeinrichtung
 - 6.3 Meßpunkte
 - 6.3.1 Pressenkraft
 - 6.3.2 Durchbiegung
 - 6.3.3 Dehnung der Innennbewehrung
 - 6.3.4 Dehnung der Lasche
 - 6.3.5 Abheben der Laschenenden
 - 6.3.6 Rißuferverschiebung
 - 6.4 Rißaufnahme
- 7. Versuchsergebnisse
 - 7.1 Versuche mit $t_1/b_1/l_1 = 6/30/800$ mm
 - 7.2 Versuche mit $t_1/b_1/l_1 = 3/60/800$ mm

- 7.3 Versuche mit $t_1/b_1/l_1 = 3/60/592$ mm
- 7.4 Darstellung der Ergebnisse im Wöhler-Diagramm
- 8. Zusammenfassung und Ausblick
- 9. Literaturverzeichnis
- Anhang A Grafische Darstellung der Ergebnisse ausgewählter
 Meßpunkte
- Anhang B Rißbilder

BEZEICHNUNGEN

Kleine Buchstaben

a	: Abstand vom Auflager zum Lasteintragungspunkt
a_l	: Abstand vom Laschenende zum Lasteintragungspunkt
b	: Balkenbreite
b_l	: Laschenbreite
c	: Betondeckung der Bewehrung
d	: Balkendicke
f	: Durchbiegung
h_s	: Statische Nutzhöhe der Bewehrung
h_l	: Statische Nutzhöhe der Lasche
l	: Balkenlänge
l_v	: Verankerungslänge der Laschen, beginnend am Punkt A nach DIN 1045
l_l	: Länge der Lasche in der linken Balkenhälfte
l_r	: Länge der Lasche in der rechten Balkenhälfte
l_a	: Bereich des gelösten Laschenverbundes nach Versuchsende
t_l	: Laschendicke
t_k	: Klebschichtdicke
v	: Versatzmaß nach DIN 1045
w	: Rißbreite
x	: Abstand der Nulllinie vom Druckrand
z_s	: Innerer Hebelarm der Bewehrung
z_l	: Innerer Hebelarm der Lasche

Große Buchstaben

A_s	: Querschnittsfläche der Bewehrungseinlagen
A_l	: Querschnittsfläche der Lasche
E_s	: Elastizitätsmodul der Bewehrung
E_l	: Elastizitätsmodul der Lasche
E_b	: Elastizitätsmodul des Betons
F_v	: Pressenkraft
F^0	: Oberlast der Schwellbelastung

F^u : Unterlast der Schwellbelastung
 F_R : Restfestigkeit
LF : Lastfall
LS : Laststufe
LW : Lastwechselzahl
M : Biegemoment
Q : Querkraft
R : Verhältnis von $\min \sigma_1 / \max \sigma_1$ bei dynamischer Belastung

Griechische Buchstaben

β_H : Haftzugfestigkeit des Betons
 β_{SP} : Spaltzugfestigkeit des Betons
 β_R : Rechenwert der Betondruckfestigkeit
 β_{S1} : Streckgrenze des Laschenstahls
 β_{SS} : Streckgrenze des Bewehrungsstahls (= $R_{p0,2}$)
 β_{Zs} : Zugfestigkeit des Bewehrungsstahls
 β_{Z1} : Zugfestigkeit des Laschenstahls
 β_e : Elastizitätsgrenze (= R_e)
 β_W : Würfeldruckfestigkeit des Betons
 ε_{SR} : Dehnung der Bewehrung im Riß
 ε_1 : Dehnung der Lasche, gemessen auf der Laschenunterseite mit DMS
 η : Verstärkungsgrad = $M_{uV2^{\circ}/\infty} / M_{u05^{\circ}/\infty}$
 μ_s : Geometrischer Bewehrungsgrad (Bewehrung) = $100 \cdot A_s / b \cdot d$
 μ_1 : Geometrischer Bewehrungsgrad (Lasche) = $100 \cdot A_1 / b \cdot d$
tot μ : Geometrischer Gesamtbewehrungsgrad = $\mu_s + \mu_1 \cdot R_{e1} / R_{p0,2}$
tot ω : Mechanischer Gesamtbewehrungsgrad = $0,01 \cdot \text{tot } \mu \cdot R_{p0,2} / \beta_{WVD} \cdot 0,7$
 τ_0 : Grundwert der Schubspannung nach DIN 1045
 σ_1 : Stahlspannung der Lasche

Indizes

0 : Unverstärkter Zustand
V : Verstärkter Zustand
u : Bruchzustand
2°/∞ : Bei 2 °/∞ Stahldehnung
5°/∞ : Bei 5 °/∞ Stahldehnung

VD : zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung
Norm : Errechnet mit Nennwerten nach DIN 1045
Ist : Errechnet mit ermittelten Festigkeitswerten
Vers. : Gemessen im Versuch

1. EINLEITUNG

Im Rahmen der Nutzungsänderung eines Bauwerkes oder auch bedingt durch Fehler in der Bauwerksbemessung und -ausführung, wird es häufig notwendig, bestehende Stahlbeton- und Spannbetonbauwerke zu verstärken.

Eine wirtschaftliche Methode zur Verstärkung von Balken und Platten stellt das Ankleben von Baustahllaschen in der Zugzone eines Biegetraggliedes dar. Hierdurch entsteht das Verbundsystem Stahlbeton + Klebelasche, das erst durch die Entwicklung hochfester Epoxidharzklebstoffe möglich wurde. Schon seit den sechziger Jahren wurden in Frankreich /1-4/ und später in Japan /5,6/, in der Schweiz /7-9/ und in Großbritannien /10-13/ Versuche mit angeklebter Bewehrung abgewickelt. Seit 1978 wurden am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz einige Forschungsarbeiten /14-17/ zu diesem Themenkreis durchgeführt. Hierbei hat man insbesondere die Einflußgrößen der Verbundfestigkeit sowie das Riß- und Verformungsverhalten von laschenverstärkten Stahlbetonzuggliedern studiert und mit Hilfe der Versuchsergebnisse eine Theorie zur Kraftabtragung in Klebungen zwischen Stahl und Beton entwickelt sowie die geometrischen und mechanischen Zusammenhänge formelmäßig beschrieben /18/. Die Theorie ist allerdings nicht in der Lage, die Beanspruchungen im gerissenen Zustand II bei ortsveränderlichem Biegemoment zu beschreiben. Das Biege-/Schubtragverhalten von Platten wurde in drei Arbeiten /19-21/ untersucht. Unklar ist bis heute das Verhalten von stahllaschenverstärkten Biegetraggliedern unter dynamischer Belastung. Es sind bisher erst einige Tastversuche unter dynamischer Belastung durchgeführt worden, so z. B. in der Schweiz (s. /9/).

Trotz dieser Vorarbeiten ist es weder in Braunschweig noch an anderer Stelle gelungen, eine geschlossene Theorie des Verhaltens im Zustand II und des Bruches von praxisüblichen laschenverstärkten Stahlbetonbauteilen zu entwickeln. Dies gilt sowohl für ruhende als auch für dynamische Belastung. Die bisher durchgeführten Verstärkungen erfolgten nach Ansätzen, mit denen das Versagen des Klebverbundes nicht zuverlässig vorhergesagt werden kann.

Ziel dieses Forschungsvorhaben ist es, für das Tragverhalten des Verbundsystems ein mechanisch begründetes Modell über den gesamten Beanspruchungsbereich bis hin zum Versagen aufzustellen. Weil auch dynamisch beanspruchte

Bauwerke ggf. verstärkt werden müssen, muß das Modell für ruhende und dynamische Lasten gelten. Das Ergebnis der Arbeit soll ein Ingenieurmodell für die Bemessung des Verbundsystems sein.

Im Rahmen des laufenden Forschungsvorhabens waren dabei folgende Versuche vorgesehen:

- statische Grundversuche an Balken und Platten,
- dynamische Grundversuche an Stahlbetonrechteckbalken,
- "Bauteilversuche" an laschenverstärkten Stahlbetonbalken mit praxisgerechten Abmessungen zur Überprüfung der mit Hilfe der statischen und dynamischen Grundversuche noch zu entwickelnden ingenieurmäßigen Berechnungsmodelle.

Der vorliegende Zwischenbericht behandelt die in den Jahren 1989 und 1990 durchgeführten dynamischen Grundversuche an laschenverstärkten Stahlbetonbalken. Über die weiteren Versuche und deren Auswertung sowie über die Theoriebildung wird gesondert berichtet.

Über die statischen Grundversuche wird in /24/ berichtet.

2. VERSUCHSPROGRAMM DER DYNAMISCHEN GRUNDVERSUCHE

Das Versuchsprogramm der dynamischen Grundversuche sieht vor: 1. Einstufenversuche zur Bestimmung von Wöhlerlinien bei schwellender Beanspruchung mit $F^u \approx 0$, $R \approx 0$, 2. Mehrstufenversuche zur Überprüfung der Anwendbarkeit einer linearen Schädigungsregel sowie 3. Resttragfähigkeitsprüfungen nach vorgängiger dynamischer Beanspruchung. In Kombination mit den Grundversuchen soll der Schädigungsmechanismus bei dynamischer Belastung ermittelt werden.

Als laschenverstärkte Versuchskörper wurden Stahlbetonrechteckbalken mit den Abmessungen $l/b/d = 210/15/26$ cm gewählt. Die Stützweite betrug bei allen Versuchen 1,80 m.

Die innenliegende Bewehrung besteht aus 2 Ø 8 BST 500 S unten bzw. 2 Ø 6 BST 500S oben als Längsbewehrung und Bügel BST 500 S Ø 6, $s = 18 \text{ cm}$ als Schubbewehrung. Bild 2.1 enthält die Abmessungen und Bewehrungsanordnung.

Die außenliegende geklebte Längsbewehrung besteht aus Flachstahl der Güte ST 37-2. Bei gleichbleibender Querschnittsfläche wurde das Verhältnis t_1/b_1 und die Verankerungslänge l_v variiert.

Die gewählten Versuchsparameter sind in Bild 2.2 zusammengefaßt.

Wegen der großen Streuung der erreichten Lastspielzahlen erfordert das Ermitteln von Wöhlerlinien eine große Anzahl von Einzelversuchen je Lasthorizont. Das Versuchsprogramm sieht wenigstens fünf Versuche auf mindestens zwei verschiedenen Lastniveaus vor.

3. BAUSTOFFE

3.1 Beton

Für die Balken der dynamischen Grundversuche wurde ein Beton der Festigkeitsklasse B 35 verwendet, dessen Rezeptur mit dem des Betons der statischen Grundversuche übereinstimmt, s. /24/.

Für jede Betonage wurden zwölf Begleitkörper hergestellt: sechs Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm und sechs Zylinder mit $h/d = 300/150 \text{ mm}$. Die Prüfung der Begleitkörper erfolgte nach 28 Tagen und zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung (VD). An den Würfeln wurde die Druckfestigkeit (nach 28 Tagen und VD) bestimmt, an je drei Zylindern die Spaltzugfestigkeit (VD) und der E-Modul bei Druckbelastung (VD).

Die Zusammensetzung und Eigenschaften des Frischbetons und die Ergebnisse der Begleitkörperprüfung sind in der Tab. 3.1 enthalten.

3.2 Betonstahl

Die verwendete Stahlgüte beträgt für alle Balken BST 500 S. Tabelle 3.2 enthält die Werte für die Zugfestigkeit β_{ZS} , die Streckgrenze β_{SS} und den Zug-Elastizitätsmodul E_S .

3.3 Laschenstahl

Die verwendeten Stahllaschen bestehen aus der Stahlgüte ST 37-2. Tab. 3.2 enthält die Werkstoffkennwerte, die Laschenabmessungen und die Zuordnung zu den Versuchsbalken.

3.4 Klebstoff

Wie bei den statischen Grundversuchen wurde der Klebstoff XB 3074 auf der Basis von ARALDIT von der Herstellerfirma Ciba Geigy AG dankenswerterweise zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse der Klebstoffprüfung sind in Tab. 3.3 enthalten.

4. HERSTELLUNG DER VERSUCHSBALKEN

Die Betonage der Balken erfolgte i.d.R. in Gruppen von je zwei bzw. fünf Stück. Bild 4.1 zeigt die Schalung mit 2 Bewehrungskörben. Dafür war eine Mischung im 500 l Zwangsmischer notwendig. Der Beton wurde von Hand in die Schalung eingebracht und mit Tauchrüttlern verdichtet. Die untere Bewehrung liegt im Verbundbereich I. Die Nachbehandlung sah eine Lagerung bei Raumtemperatur vor, die ersten sieben Tage unter feuchten Tüchern. Die Begleitkörper lagerten in unmittelbarer Nähe der Versuchsbalken unter gleichen Bedingungen.

Etwa zwei Wochen vor Versuchsbeginn wurden die Klebflächen des Betons mit einem tragbaren Vacuum-Strahlgerät vom Typ Eductomatic mit Strahlkorund Nr. 24 gestrahlt. Vor der Klebung wurden auf der gestrahlten Betonfläche Haftzugversuche durchgeführt und Haftzugfestigkeitswerte vom i.M. $2,8 \text{ N/mm}^2$ ermittelt. Die Stahllaschen wurden ebenfalls gesandstrahlt. Der Reinheitsgrad entsprach SA 3 nach DIN 55 928, Teil 4. Auf einen Korrosionsschutz durch

das Aufbringen eines Primers wurde verzichtet. Ein evtl. von der nicht vollständig ölfreien Preßluft beim Strahlen zurückbleibender Fettfilm wurde mit Trichloräthylen abgewaschen.

Anschließend wurde der Klebstoff XB 3074 der Firma Ciba-Geigy dachförmig auf die Lasche aufgetragen und die Lasche auf die Klebfläche des Versuchskörpers geklebt. Der zum allseitigen Austreten des Klebstoffs erforderliche Anpreßdruck wurde über ein lastverteilendes Kantholz mit Schraubzwingen aufgebracht. Die Klebschichtdicke betrug im Endzustand etwa 0,5 - 1 mm. Die Durchführung der Klebearbeiten erfolgte nach den geltenden Zulassungsbestimmungen.

5. RECHENWERTE DER VERSUCHSBALKEN

Im folgenden werden für den Versuchskörper der dynamischen Grundversuche die Rechenwerte der Biege- und Schubtragfähigkeit angegeben. Zur Anwendung kam das Programm "PBMQ" von Quast mit dem Dehnungszustände und Biegemomente sowohl mit Nennfestigkeiten nach DIN 1045 als auch mit tatsächlich vorhandenen Materialfestigkeiten berechnet werden können.

5.1 Biegetragfähigkeit

Die Biegetragfähigkeit wurde mit den Grundlagen nach DIN 1045 ermittelt. Es gelten folgende Voraussetzungen:

- Parabel-Rechteckdiagramm für den Beton
- bilineare Spannungs-Dehnungs-Linien für den Bewehrungs- und Laschenstahl

Weitere Rechenannahmen sind:

Breite des Balkens:	$b = 15 \text{ cm}$
Querschnittshöhe:	$d = 26 \text{ cm}$
statische Nutzhöhe (Innenbewehrung):	$h_s = 23,9 \text{ cm}$
statische Nutzhöhe (Lasche $b_l/t_l = 30/6 \text{ mm}$)	$h_l = 26 + 0,1 + 0,3 = 26,4 \text{ cm}$
Rechenwert der Betondruckfestigkeit	$\beta_R = 23 \text{ MN/m}^2 \text{ (B 35)}$
statische Nutzhöhe h	$h_{\text{ges}} = 25,5 \text{ cm}$

Versatzmaß	$v = 0,85 \cdot h_{\text{ges}} = 21,7 \text{ cm}$
Streckgrenze Innenbewehrung	$\beta_{\text{ss}} = 500 \text{ N/mm}^2$
Streckgrenze Lasche	$\beta_{\text{sl}} = 240 \text{ N/mm}^2$
E-Modul Stahl	$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Mit den o.g. Voraussetzungen ergibt sich das rechnerische Biegebruchmoment zu $M_u = 21,5 \text{ KNm}$ ($\epsilon_l/\epsilon_b = 5,0/-1,23$). Eine Berechnung mit den vorhandenen Materialfestigkeiten nach Tab. 3.2 ergibt die in Tab. 5.1 angeführten Bruchmomente. Dabei wurde für den Rechenwert der Betondruckfestigkeit die Prismendruckfestigkeit ($\beta_p \approx 0,85 \cdot \beta_w$) zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung angesetzt.

Zur Kontrolle der getroffenen Annahmen wurden zwei statische Vorversuche (STAT 1 und STAT 2) durchgeführt. Die rechnerische Bruchlast ($F_v = 60,6 \text{ kN}$), ermittelt mit vorhandenen Materialfestigkeiten korreliert gut mit der im Versuch bestimmten Bruchlast. Das Versagen trat bei beiden Versuchen kurz nach Erreichen von $F_v = 60 \text{ kN}$ auf.

5.2 Schubtragfähigkeit

Abweichend von DIN 1045 wurde die Bemessung gegen Schubversagen mit der rechnerischen Bruchlast (ermittelt mit vorhandenen Materialfestigkeiten) durchgeführt.

Der Grundwert der Schubspannung τ_0 ergibt sich wie folgt:

$$\tau_0 = \frac{Q_0}{b_0 \cdot z} \quad \text{mit } Q_0 = \frac{F_{vu}}{2} = \frac{60,8}{2} = 30,4 \text{ KN}$$

$$b_0 = 0,15 \text{ m}$$

$$z = 0,85 \cdot h_{\text{ges}} = 0,85 \cdot 25,5 = 21,7 \text{ cm}$$

$$\tau_0 = \frac{30,4 \cdot 10^{-3}}{0,15 \cdot 0,217} = 0,934 \text{ MN/m}^2 < 1,8 > 0,75 \rightarrow \text{SB II}$$

Wegen vorwiegend nichtruhender Belastung wird auf eine verminderte Schubdeckung verzichtet (obwohl nach DIN 1045, Ausgabe 7/88 zulässig).

Die erforderliche Bügelbewehrung ergibt sich zu

$$\text{erf } a_{sbü} = \frac{T'}{\beta_s} = \frac{\tau_o \cdot b}{\beta_s} = \frac{0,934 \cdot 0,15}{500} = 2,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Gewählt wurden zweischnittige Bügel $\emptyset 6$, $s = 18 \text{ cm}$ mit einem vorhandenen Querschnitt von $3,14 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Ermittlung der zulässigen Schwingbreite nach DIN 1045:

Mit zul $\sigma_s = 180 \cdot \text{N/mm}^2$ ergibt sich zul τ zu

$$\text{zul } \tau = \frac{\text{vorh } a_{sbü} \cdot \text{zul } \sigma_s}{b_o} = \frac{3,14 \text{ cm}^2/\text{m} \cdot 10^{-4} \cdot 180 \text{ MN/m}^2}{0,15}$$
$$\text{zul } \tau = 0,377 \text{ MN/m}^2$$

Den Anteil aus der nicht vorwiegend ruhenden Belastung darf mit dem Faktor 0,6 abgemindert werden.

$$\text{zul } \tau = \frac{0,377}{0,6} = 0,628 \text{ MN/m}^2$$

Wenn die Unterlast F_v^u zu 0 angenommen wird, ergibt sich für die dynamische Belastung eine zulässige Oberlast von

$$\text{zul } F_v^0 = 2 \cdot Q_0 = 2 \cdot \text{zul } \tau \cdot b_o \cdot z = 2 \cdot 0,628 \text{ MN/cm}^2 \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 0,217 \text{ m}$$

$$\text{zul } F_v^0 = 40,9 \text{ KN}$$

5.3 Ermittlung der Verankerungslänge der Lasche

Nach geltenden Zulassungsbestimmungen /22/ läßt sich die erforderliche Verankerungslänge für den rechnerischen Bruchzustand mit folgender Formel, ermittelt am Doppelaschenkörper unter Zugbeanspruchung ohne Biegung, angeben:

$$l_v = \frac{z_1^2}{b_1^2 \cdot t_1 \cdot K \cdot \tau_K} \quad (1)$$

Die Anwendung dieser Gleichung führt zu Verankerungslängen, die überdimensioniert sein können, wie die Ergebnisse der statischen Grundversuche ge-

Die Anwendung dieser Gleichung führt zu Verankerungslängen, die überdimensioniert sein können, wie die Ergebnisse der statischen Grundversuche gezeigt haben /24/. Für die dynamischen Versuche wurde daher die Verankerungslänge reduziert. Maßgebendes Kriterium blieb aber die Deckung der versetzten Zugkraftlinie nach DIN 1045 für die angestrebte Oberlast. Tab. 5.2 enthält die gewählten und die nach Zulassung erforderlichen Verankerungslängen.

Durch die statischen Vorversuche (STAT 1 und STAT 2) wurde sichergestellt, daß die Verankerungslänge ausreicht, die Laschenzugkraft zu übertragen. Das Versagen trat bei einer rechnerischen Laschenzugkraft von $Z_1 = 58,3$ kN durch Verbundbruch (Bruch im Beton, wenige mm oberhalb der Klebschicht) und durch Erreichen der Streckgrenze des Laschenstahls ein.

6. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

6.1 Versuchseinrichtung und Belastung

Der Aufbau der Versuchseinrichtung ist in Bild 6.1 und 6.2 wiedergegeben. Die Kraftaufbringung erfolgte über eine hydraulische Presse mit einer maximalen Pressenkraft von 100 kN statisch und 50 kN dynamisch. Bei den Prüfständen handelt es sich zum einen um einen geschlossenen Stahlrahmen aus geschweißten IPB-Profilen und zum anderen um einen Prüfstand, bei dem die Presse an der kreuzweise vorgespannten steifen Prüffelddecke verankert war. Als Auflager wurde ein bewegliches Rollenlager und ein Schneidenauflager verwendet. Zwischen Presse und Versuchskörper befand sich eine Kraftmeßdose. Die Lastaufbringung bei den statischen Vorversuchen erfolgte in Schritten von 2 kN mit Meßwertaufnahme durch eine Vielstellenmeßanlage. Bei den dynamischen Grundversuchen wurde die Oberlast in Laststufen von ca. 5 kN mit digitaler und analoger Meßwerterfassung angefahren und die Rißöffnung dokumentiert. Anschließend erfolgte eine Entlastung auf Unterlast. Aus versuchstechnischen Gründen konnte die Unterlast nicht zu 0 kN gewählt werden, da sonst ein Abheben des Versuchskörpers während des dynamischen Versuches zu befürchten war. Als minimale Unterlast wurde eine Pressenkraft von 1,5 kN angestrebt. Anschließend begann der dynamische Versuch mit einer Prüffrequenz von 1 bzw. 4 Hz.

6.2 Meßeinrichtung

Während des laufenden dynamischen Versuches wurden Dehnungen und Verschiebungen ausgewählter Meßpunkte in bestimmten Zeitabschnitten registriert. In der Regel fand eine Messung alle sechs Minuten, entsprechend ca. 360 bzw. ca. 1500 Lastwechseln statt. Verwendet wurde dazu ein digitaler Meßverstärker der Fa. Hottinger vom Typ DMC 9012 in Verbindung mit einem Personal Computer. Aufgenommen wurden die Werte der Kraftmeßdose, der Dehnmeßstreifen und der Wegaufnehmer bei Ober- und Unterlast. Mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogrammes vom Typ RS/1 der Fa. BBN Software konnten die umfangreichen Daten auf PC oder Workstation weiterbehandelt und grafische Darstellungen der Versuchsergebnisse erzeugt werden. Parallel zur digitalen Datenaufnahme wurden einige Meßwerte auch mit Analogschreibern aufgenommen.

Bei einigen Versuchen wurden keine Messungen vorgenommen, sondern nur die Bruchlastspielzahl und die Rißentwicklung in Abhängigkeit der Lastspielzahl registriert.

6.3 Meßpunkte

Gemessen wurden während des laufenden Versuches: Pressenkraft, Durchbiegung, Dehnungen der Innenbewehrung und der Lasche. Zusätzlich ist bei einigen Versuchen das Abheben der Laschenenden und die vertikale Rißuferverschiebung am linken Sollrißblech aufgenommen worden. Einen Meßstellenplan mit Ort und Art der Messungen enthält Bild 6.3.

6.3.1 Pressenkraft

Die Aufnahme der Pressenkraft erfolgte durch eine Kraftmeßdose vom Typ C1, 1000 kN der Fa. Hottinger

6.3.2 Durchbiegung

Die Durchbiegung in Feldmitte wurde mit einem Wegaufnehmer vom Typ W 10 TK bzw. W 20 TK der Fa. Hottinger gegen den unteren Riegel des Prüfrahmens oder gegen den Prüffeldboden gemessen.

6.3.3 Dehnung der Innenbewehrung

Auf die Unterseite der inneren Biegezugbewehrung (\emptyset 8 mm) sind Dehnungsmeßstreifen (DMS) vom Typ LY/120 der Fa. Hottinger mit einer Basismeßlänge von 3 mm geklebt worden. Diese Meßstellen lagen im Bereich der Sollrißbleche, mit denen der Ort der Rißbildung im Beton vorgegeben wird. Im Versuch wurden die Betonstahldehnungen im Riß gemessen. Die Lage der DMS ist dem Meßstellenplan (Bild 6.3) zu entnehmen.

6.3.4 Dehnung der Lasche

Auf die Unterseite der außenliegenden Stahllasche sind ebenfalls DMS vom Typ LY/120 der Fa. Hottinger mit einer Basismeßlänge von 3 mm geklebt worden. Die Meßlänge wurde mit 3 mm relativ kurz gewählt, um Größe und Verteilung von Spannungsspitzen und -konzentrationen im Rißbereich sowie deren Veränderung unter dynamischer Belastung feststellen zu können. Einige Meßstellen liegen deckungsgleich mit denen der Innenbewehrung, die anderen wurden am Laschenende und über den Sollrißblechen konzentriert (s. Bild 6.3) hier aber ohne DMS am Laschenende).

6.3.5 Abheben der Laschenenden

Am linken Laschenende ist mit Hilfe eines Wegaufnehmers vom Typ W 2 ATK der Fa. Hottinger in einigen Versuchen das vertikale Abheben des Laschenendes vom Beton während des dynamischen Versuches gemessen worden (s. Bild 6.4).

6.3.6 Rißuferverschiebung

Die vertikale Relativverschiebung der beiden Rißufer im Bereich des linken Sollrißbleches (1. Biegeschubriß) gibt einen Wert für die Größe der Beanspruchung der Klebschicht auf Abschälen. Durch die Anordnung eines Wegaufnehmers vom Typ W 2 TK der Fa. Hottinger wurde die Verschiebung der beiden Rißufer aufgenommen (s. Bild 6.5).

6.4 Rißaufnahme

Während der laufenden Versuche wurde in regelmäßigen Zeitabständen der Versuchsbalken auf Rißbildung im Beton und zwischen Stahllasche und Beton hin untersucht. Die Rißlängenentwicklung wurde dokumentiert, auf eine Rißbreitenbestimmung wurde in diesem Versuchsstadium verzichtet.

Die Rißbilder im Anhang B zeigen außerdem die Balkenunterseite nach Entfernen der Lasche nach Versuchsende. Das manuelle Lösen der Lasche geschieht durch Abschälen der Lasche vom Beton und damit durch Überschreiten der Haftzugfestigkeit der Betonoberfläche. Das Verbundsystem Stahlbeton/Klebelasche reagiert sehr empfindlich auf vertikale Zugspannungen senkrecht zur Klebeschicht.

7. VERSUCHSERGEBNISSE

Die bisher durchgeführten Versuche lassen sich in folgende Gruppen unterteilen (s. auch Kapt. 2)

I.	1. Statische Vorversuche	$t_1/b_1/l_1 = 6/30/800 \text{ mm}$
	2. dynamische Versuche	$t_1/b_1/l_1 = 6/30/800 \text{ mm}$
II.	1. Statische Vorversuche	$t_1/b_1/l_1 = 3/60/800 \text{ mm}$
	2. dynamische Versuche	$t_1/b_1/l_1 = 3/60/800 \text{ mm}$
III.	1. Statische Vorversuche	$t_1/b_1/l_1 = 6/30/592 \text{ mm}$
	2. dynamische Versuche	$t_1/b_1/l_1 = 6/30/592 \text{ mm}$

Tab. 7.1 enthält eine Übersicht über alle bisher durchgeführten Versuche mit Angabe der Bruchlastspielzahl bzw. der Resttragfähigkeit. Im folgenden werden die einzelnen Versuche näher beschrieben. Eine Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt. In Anhang A und B sind die ermittelten Meßwerte und die Rißbilder grafisch dargestellt.

7.1 Versuche mit $t_1/b_1/l_1 = 6/30/800$ mm

Balken STAT 1

Bei diesem statischen Bruchversuch wurde die Last in Laststufen von $\Delta F = 2,0$ KN aufgebracht. Das Versagen trat schlagartig durch Kohäsionsbruch im Beton, wenige Millimeter über den Klebschicht auf. Die Lasche löste sich bis auf einen Bereich von ca. 20 cm am rechten Auflager vollständig vom Beton ab. Der Balken versagte bei einer Pressenkraft von $F_V = 60,0$ KN. Eine Messung konnte bei Erreichen der Bruchlast nicht mehr stattfinden.

Balken STAT 2

Die Versuchsdurchführung entsprach der des Balkens STAT 1. Versagenslast und Bruchart stimmen überein.

Bei beiden statischen KZ-Versuchen konnte nicht geklärt werden, ob der Verbundbruch vom Laschenende in Richtung Lasteinleitung erfolgte oder umgekehrt. Bild 7.1.1 zeigt die Balkenunterseite kurz nach Versuchsende.

Balken DYN 3

Der erste dynamische Versuch wurde mit einer angestrebten Oberlast von $F^0 = 30,0$ KN entsprechend $0,5 \cdot F_{VStat}$ und einer Unterlast von $F^U = 3,5$ KN ($= 0,06 F_{VStat}$) belastet. Nach Erreichen einer Lastspielzahl von ca. $2 \cdot 10^6$ LW wurde die Oberlast kontinuierlich von $F^0 = 30,0$ KN bis auf $F^0 = 48,0$ KN angehoben. Die Unterlast blieb konstant. Nach Erreichen der maximalen Oberlast versagte der Balken schlagartig durch Verbundbruch mit Ablösen der Lasche auf einer Länge von $l_a = 110$ cm. Eine Schädigung des Verbundes während des dynamischen Versuches konnte optisch nicht festgestellt werden.

Balken DYN 4

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 40,0$ KN und einer Unterlast von $F^U = 3,5$ KN. Der Bruch erfolgte nach einer Lastspielzahl von 7300 LW durch Ablösen der Lasche vom Beton auf einer Länge von 110 cm. Die Bruchfläche zeigt sowohl Bereiche mit Betonbruch als auch mit Kohäsionsbrüchen im Klebstoff.

Balken DYN 5

noch nicht geprüft

Balken DYN 6

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 30 \text{ KN}$ und einer Unterlast von $F^0 = 3,0 \text{ KN}$. Nach $2 \cdot 10^6 \text{ LW}$ wurde der dynamische Versuch abgebrochen und die Restfestigkeit im statischen Kurzzeit-Versuch ermittelt. Der Bruch trat ein bei einer Pressenkraft von $F_v = 67,5 \text{ KN}$ durch Ablösen der Lasche vom Beton auf einer Länge von $l_a = 125 \text{ cm}$ von links bis kurz vor dem rechten Auflager. Die Bruchfläche zeigt deutliche Klebstoffanteile sowohl auf der Lasche als auch auf der Betonunterseite, was auf eine Schädigung des Verbundes während des dynamischen Versuchsteiles schließen läßt.

Balken DYN 7

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 35,0 \text{ KN}$ und einer Unterlast von $F^u = 3,0 \text{ KN}$. Bruch nach $2,02 \cdot 10^6$ Lastwechseln durch Ablösen der Lasche in der rechten Balkenhälfte auf einer Länge von $l_a = 65 \text{ cm}$. Die Bruchfläche verläuft zu ca. 70 % im Klebstoff. Um den Meßaufwand zu verringern, wurde nur die linke Balkenhälfte mit DMS und Wegaufnehmern auf der Lasche bestückt. Der Bruchart sollte durch Vergrößerung der Verankerungslänge der Lasche im rechten Teil in die linke Balkenhälfte gezwungen werden, was aber nicht gelang. Im folgenden wurde daher die Lasche in der rechten Balkenhälfte mit zusätzlichem Querdruck durch das Anbringen von zwei Schraubzwingen versehen.

Balken DYN 8

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 35,0 \text{ KN}$ und einer Unterlast von $F^u = 3,0 \text{ KN}$. Nach $2 \cdot 10^6 \text{ LW}$ wurde der dynamische Versuch abgebrochen und die Resttragfähigkeit in KZ-Versuch bestimmt. Die Bruchlast liegt mit $F_R = 69,8 \text{ KN}$ deutlich über derjenigen der statischen Versuche STAT1 und STAT2 ($F_u = 60,0 \text{ KN}$). Das Versagen trat ein durch Ablösen der Lasche vom Beton auf einer Länge von $l_a = \text{ca. } 1300 \text{ mm}$ in der linken Balkenhälfte. Die Bruchfläche zeigt deutliche Anteile von Kohäsionsbrüchen im Klebstoff.

DYN 9

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 33,10 \text{ KN}$ und einer Unterlast von $F^u = 1,0 \text{ KN}$ und anschließende Restfestigkeitsprüfung.

Bruchart wie DYN 8.

Balken DYN 10

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 35,0 \text{ KN}$ und einer Unterlast von $F^u = 1,0 \text{ KN}$ und anschließende Restfestigkeitsprüfung.

Bruchlast wie DYN 8.

Balken DYN 11

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 38,0 \text{ KN}$ und einer Unterlast von $F^u = 1,0 \text{ KN}$. Ausbau nach $2 \cdot 10^6 \text{ LW}$ zur Bestimmung der Restfestigkeit (noch nicht geprüft).

Balken DYN 12

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 40,0 \text{ KN}$ und einer Unterlast von $F^u = 1,5 \text{ KN}$. Bruch nach 305.000 LW durch Ablösen der Lasche vom Beton. Die Verbundfläche zeigt große Anteile von Kohäsionsbruch im Klebstoff infolge der dynamischen Belastung. Am linken Laschenende ist ein Bereich mit Betonbruch zu erkennen, s. auch Bild 7.1.2.

Balken DYN 14

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 38,0 \text{ KN}$ und einer Unterlast von $F^u = 2,0 \text{ KN}$. Das Versagen erfolgte nach 123.400 LW . Wie bei Balken DYN 12 zeigt auch hier die Bruchfläche große Anteile an Klebstoffbruch in Kombination mit flächenmäßig geringeren Anteilen an Betonbruch.

Balken DYN 15

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 34,0 \text{ KN}$ und einer Unterlast von $F^u = 1,0 \text{ KN}$. Bei ca. 237.000 LW erfolgte das Versagen durch das Ablösen der Lasche vom Beton infolge vollständigem Kohäsionsbruch im Klebstoff in der linken Balkenhälfte.

Balken DYN 17

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von zunächst $F^0 = 31,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,0$ KN, Nach $5 \cdot 10^6$ LW wurde die Oberlast auf 36,0 KN erhöht. Der Bruch erfolgte nach insgesamt $7,6 \cdot 10^6$ LW durch das Ablösen der Lasche vom Beton. Auch hier zeigt die Verbundfläche deutliche Anteile von Kohäsionsbrüchen sowohl im Klebstoff als auch im Beton, s. auch Bild 7.1.3.

Balken DYN 18

Bei diesem dynamischen Versuch kam es durch einen Fehler in der Belastungseinrichtung zu einer kontinuierlichen Steigerung der Pressenkraft von 45,0 bis 50,0 KN (= maximale mögliche dynamische Belastung). Die Unterlast betrug 1,5 KN. Das Versagen trat durch Ablösen der Lasche vom Beton infolge deutlicher Überschreitung der Streckgrenze des Laschenstahls auf.

Balken DYN 19

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 45$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Es wurden keine Messungen vorgenommen. Das Versagen trat nach 115.200 LW durch Ablösen der Lasche vom Beton ein.

Balken DYN 20

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von zunächst $F^0 = 40,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Nach $5 \cdot 10^6$ LW wurde die Oberlast auf $F^0 = 45,0$ KN erhöht. Das Versagen trat ein nach insgesamt $5,7 \cdot 10^6$ LW durch Bruch der Lasche in Feldmitte, bzw. durch Bruch der Innenbewehrung, s. auch Bild 7.1.4 und 7.1.5.

Balken DYN 21

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 45,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Nach einer Lastspielzahl von 389.500 LW versagte der Balken durch Ablösen der Lasche vom Beton. Die Bruchfläche zeigt einen großen Anteil an Kohäsionsbrüchen im Klebstoff mit einem kleinen Bereich Betonbruch am Laschenende.

Balken DYN 22

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 40,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Nach einer Lastspielzahl von 328.600 LW trat das Versagen durch Ablösen der Lasche vom Beton ein. Bruchart und -fläche sind ähnlich der des Versuches 21.

Balken DYN 23

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 40,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Das Versagen trat nach einer Lastspielzahl von ca. $1 \cdot 10^6$ LW durch Ablösen der Lasche von links bis zum mittleren Sollrißblech auf. Bei ca. 950.000 LW kam es zum Bruch der Innenbewehrung in Feldmitte und damit zum sprunghaften Anstieg der Dehnung in der Lasche mit anschließendem Versagen.

Balken DYN 24

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 40,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Das Versagen trat ein durch Bruch der Lasche im Bereich des mittleren Sollrißbleches. Messungen wurden nicht vorgenommen.

Balken DYN 25

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 40,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Nach $2,1 \cdot 10^6$ LW trat das Versagen durch Ablösen der Lasche von links bis zum linken Sollrißblech auf. In den Bruchflächen sind deutliche Anteile von Klebstoffbrüchen zu erkennen.

Balken DYN 40

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 40,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Nach nur 1.300 LW versagte der Balken durch Ablösen der Lasche infolge Verbundbruch (= Kohäsionsbruch im Beton wenige mm über der Klebschicht). Messungen wurden nicht vorgenommen. Die genaue Versagensursache konnte bis jetzt nicht geklärt werden.

Balken DYN 41

Dynamischer Versuch wie DYN 40. Das Versagen trat nach 156.300 LW durch Ablösen der Lasche von links bis zum mittleren Sollrißblech auf. Die Bruchfläche zeigt fast ausschließlich Kohäsionsbruch im Beton.

Balken DYN 42

Belastung und Bruchart wie DYN 41. Versagen nach 68.500 Lastwechseln.

7.2 Versuche mit $t_1/b_1/l_1 = 3/60/800$ mm

Um den Einfluß des Verhältnisses b_1/t_1 auf die dynamische Tragfähigkeit bei gleicher Verankerungslänge und gleichem Verstärkungsgrad wie vor zu untersuchen, sind einige Versuche mit einer 60 mm breiten und 3 mm dicken Lasche geprüft worden.

In einem statischen Versuch ist die Kurzzeittragfähigkeit vorab bestimmt worden.

Balken STAT 31

Statischer Versuch mit einer Bruchlast von $F_u = 80,0$ KN. Das Versagen trat ein durch Ablösen der Lasche vom Beton nach Überschreiten der Streckgrenze des Laschenstahles und anschließend der der Innenbewehrung. In dem Bereich des überdehnten Laschenstahles versagt der Klebstoff infolge zu großer Verformung.

Balken DYN 34

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 45,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Das Versagen trat nach $1,9 \cdot 10^6$ LW durch Ablösen der Lasche vom Beton ein. Die Bruchfläche liegt vollständig im Beton, wenige mm oberhalb der Klebschicht. Messungen wurden nicht vorgenommen.

Balken DYN 35

Dynamischer Versuch wie DYN 34. Ausbau nach $2,0 \cdot 10^6$ LW zur Bestimmung der Restfestigkeit. Die erreichte Bruchlast liegt mit $F_u = 74,0$ KN unter der

des statischen Versuches STAT 31 ($F_u = 80,0$ KN). Die Bruchfläche zeigt zu 100 % Betonbruch.

Balken DYN 37

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 45,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Nach $1,1 \cdot 10^6$ LW trat der Bruch durch Ablösen der Lasche vom Beton ein. Die Bruchfläche zeigt große Anteile von Kohäsionsbruch im Klebstoff, das Rißbild eine ausgeprägte Rißbildung zwischen Lasche und Beton in Abhängigkeit von der Lastspielzahl.

Balken DYN 38

Belastung und Bruchlast wie DYN 37. Erreichte Lastspielzahl $0,5 \cdot 10^6$ LW.

Balken DYN 39

Belastung und Bruchlast wie DYN 38 und DYN 37. Erreichte Lastspielzahl $1,5 \cdot 10^6$ LW.

7.3 Versuche mit $t_1/b_1/l_1 = 3/60/592$ mm

Bei dieser Versuchsreihe ist die Verankerungslänge auf $l_v = 592$ mm reduziert worden (s. 5.3).

Balken STAT 29

Statischer Bruchversuch mit einer Bruchlast von $F_u = 53,0$ KN. Das Versagen trat durch Betonbruch in Höhe der Innenbewehrung durch Überschreiten der Zugfestigkeit des Betons ein. Auf der abgelösten Lasche blieb der Beton in einer Schichtdicke von der Größe der Betonüberdeckung haften.

Balken STAT 30

Statischer Bruchversuch mit einer Bruchlast von $F_u = 54,0$ KN. Die Versagensart ist identisch mit der des Versuches STAT 29. Bild 7.1.6 zeigt die Bruchfläche mit den freiliegenden Innenbewehrung.

Balken DYN 26

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 35,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Der Bruch trat nach ca. $0,4 \cdot 10^6$ LW durch Betonversagen in Höhe der Innenbewehrung auf.

Balken DYN 27

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 39,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Nach ca. $2 \cdot 10^6$ LW wurde die Restfestigkeit bestimmt. Mit $F_R = 56,0$ KN liegt die Bruchlast im Bereich derjenigen der Kurzzeitversuche STAT 29 und STAT 30. Bruchart wie DYN 26.

Balken DYN 28

Dynamischer Versuch wie DYN 26. Erreichte Lastspielzahl 560.000 LW. Bruchart wie zuvor.

Balken DYN 33

Dynamischer Versuch mit einer Oberlast von $F^0 = 30,0$ KN und einer Unterlast von $F^u = 1,5$ KN. Nach ca. $7,0 \cdot 10^6$ LW wurde die Restfestigkeit bestimmt. Sie liegt mit $F_R = 52,6$ KN im Bereich derjenigen der statischen Kurzzeitfestigkeit.

7.4 Darstellung der Ergebnisse im Wöhler-Diagramm

Ein Ziel des Forschungsvorhabens ist die Ermittlung von Wöhler-Linien aus den gewonnenen Versuchsergebnissen. Dazu wird die Bruchlastspielzahl in Abhängigkeit von der vorhandenen Belastung (i. a. Oberlast oder Amplitude) in einem Diagramm in halblogarithmischer Darstellung aufgetragen. Die bisher ermittelten Versuchsergebnisse werden in den Bildern 7.4.1 - 7.4.3 dargestellt. Die geringfügig schwankende Unterlast ist an dieser Stelle nicht berücksichtigt worden. Eine abschließende Auswertung liegt noch nicht vor.

8. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Gegenstand dieses Zwischenberichtes sind die in den Jahren 1989 und 1990 durchgeführten Grundversuche an dynamisch belasteten, laschenverstärkten Stahlbetonbalken. Die erzielten Bruchlastspielzahlen, Bruchlasten und die Versagensarten wurden beschrieben. Eine theoretische Auswertung liegt zu diesem Zeitpunkt noch nicht vor. Im Anschluß an die Grundversuche werden 2- und 3-Stufenversuche zur Überprüfung der Anwendbarkeit einer linearen Schadensakkumulationsregel durchgeführt. Nach der Ermittlung eines Bemessungskonzeptes soll die Theorie anhand von Bauteilversuchen mit praxisgerechten Abmessungen überprüft werden.

9. LITERATUR

- [1] Cirodde, Roger: Techniques d'Assemblage par collage. In: Bull. RILEM Nr. 37, 1967, S. 253 - 261.
- [2] L'Hermite, Robert: L'application des colles et des Resines dans la Construction. In: Ann. ITBTP nr. 239, 1967, S. 1482 - 1497.
- [3] Bresson, Jacques: Nouvelles recherches et application concernant l'utilisation des collage dans les structures. In: Ann. ITBTP, Nr. 278, 1971, S. 22 - 55.
- [4] Bresson, Jacques: L'application du Beton plaque. In: Ann. ITBTP Nr. 297, 1972, S. 1 - 25.
- [5] Bauminister von Tokyo: Betonbalken mit angeklebter Bewehrung unter Biege- und Schubbeanspruchung (japanisch). Herausgegeben vom Bauministerium in Tokyo, April 1971. Bericht Nr. 681.
- [6] Sho-Bond Kagaku Co. Ltd.: Entwicklung von Verstärkungsmethoden für Betonplatten (japanisch). Sho-Bond Kagaku Co. Ltd., 4-25-21, AOKI Kawaguchi-City, Japan.
- [7] Ladner, Marc; Flueler, Peter: Versuche an Stahlbetonbauteilen mit geklebter Armierung. In: Schweiz. Bauzeitung 92, 1974, S. 463 - 470.
- [8] Hugenschmidt, Felix, Epoxy adhesives for concrete and steel. International Congress on Polymer concretes, London, Mai 1975.
- [9] Ladner, Marc; Weder, Christian: Geklebte Bewehrung im Stahlbetonbau, Dübendorf: EMPA, 1981, Bericht Nr. 206.
- [10] Irvin, C. A. K.: the strengthening of concrete beams by bonded steel plates. Transp. Road. Res. Lab. - Crowthorne/Berkshire: TRRL 1975, Sup. Rep. 160 UC.
- [11] MacDonald, M. D.: The flexural behaviour of concrete beams with bonded external reinforcement. TRRL Crowthorne/Berkshire: TRRL 19/8, Sup. Rep. 415.

- [12] Jones, R.; Swamy, R. N.; Ang, Th. H.: Unter and over reinforced concrete Beams with glued steel plates. In: Int. Journ. CEM. Comp. Light Concr. 4 (1982), S. 19 - 32.
- [13] MacDonald, M. D.: The flexural performance of 3,5 m concrete beams with various bonded external reinforcements. TRRL Crowthorne/Berkshire: TRRL 1982, Sup. Rep. 728.
- [14] Rostásy, Ferdinand S.; Ranisch, Ernst-H.; Alda, Willi: Verstärkung von Spannbetonbrücken im Koppelfugenbereich durch angeklebte Stahllaschen. In Bauingenieur 56 (1981), S. 139 - 145.
- [15] Rostásy, Ferdinand S.; Ranisch, Ernst-H.; Alda, Willi: Nachträgliche Verstärkung von Spannbetonbrücken im Koppelfugenbereich durch angeklebte Stahllaschen. In: Forschung - Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 326, Bonn: BMV 1982.
- [16] Rostásy, Ferdinand S.; Ranisch, Ernst-H.: Strengthening of bridges with epoxy bonded steel plates. IABSE-Symposium, Washington 1982, Final Report, Vol. 39.
- [17] Rostásy, Ferdinand S.; Ranisch, Ernst-H.: Einseitige Verstärkung gerissener Koppelfugenbereiche durch angeklebte Stahllaschen. In: Forschung - Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 378, Bonn: BMV 1983.
- [18] Ranisch, Ernst-H.: Zur Tragfähigkeit von Verklebungen zwischen Betonstahl und Beton - Geklebte Bewehrung -. Diss. TU Braunschweig 1982.
- [19] Rostásy, Ferdinand S.; Ranisch Ernst-H.: Nachträgliche Verstärkung von Stahlbetonplatten durch Ankleben von Bewehrung. TU Braunschweig, Inst. f. Baustoffe, Massivbau und Brandschutz/Land Niedersachsen - Braunschweig: Forschungsbericht 1983.
- [20] Rostásy, Ferdinand S.; Ranisch Ernst-H.: Verstärkung von Stahlbetonplatten durch angeklebte Laschen aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Forschungsbericht, Inst. f. Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Juli 1986.

- [21] Rostásy, Ferdinand S.; Ranisch Ernst-H.: Bemessungshilfen für Stahlbetonplatten mit angeklebter Laschenverstärkung. Forschungsbericht, Inst. f. Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig 1986.
- [22] Laumer, R.: Schubfeste Klebeverbindung zwischen Stahlplatten und Stahlbetonbauteilen oder Spannbetonbauteilen. Zulassungsbescheid Z-36.1-4, Institut für Bautechnik, Berlin.
- [23] Kordina, K.; Iványi, G.; Rafla, K.; Blume, F.: Systematische Auswertung von Schubversuchen an Stahlbetonbalken. TU Braunschweig, Inst. f. Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Forschungsbericht, Juli 1977.
- [24] Rostásy, Ferdinand S.; Holzenkämpfer, P.: Ingenieurmodell für das Verbundsystem Stahlbeton + Klebelasche, Teil 1, statische Grundversuche, IBMB, 3/1989.

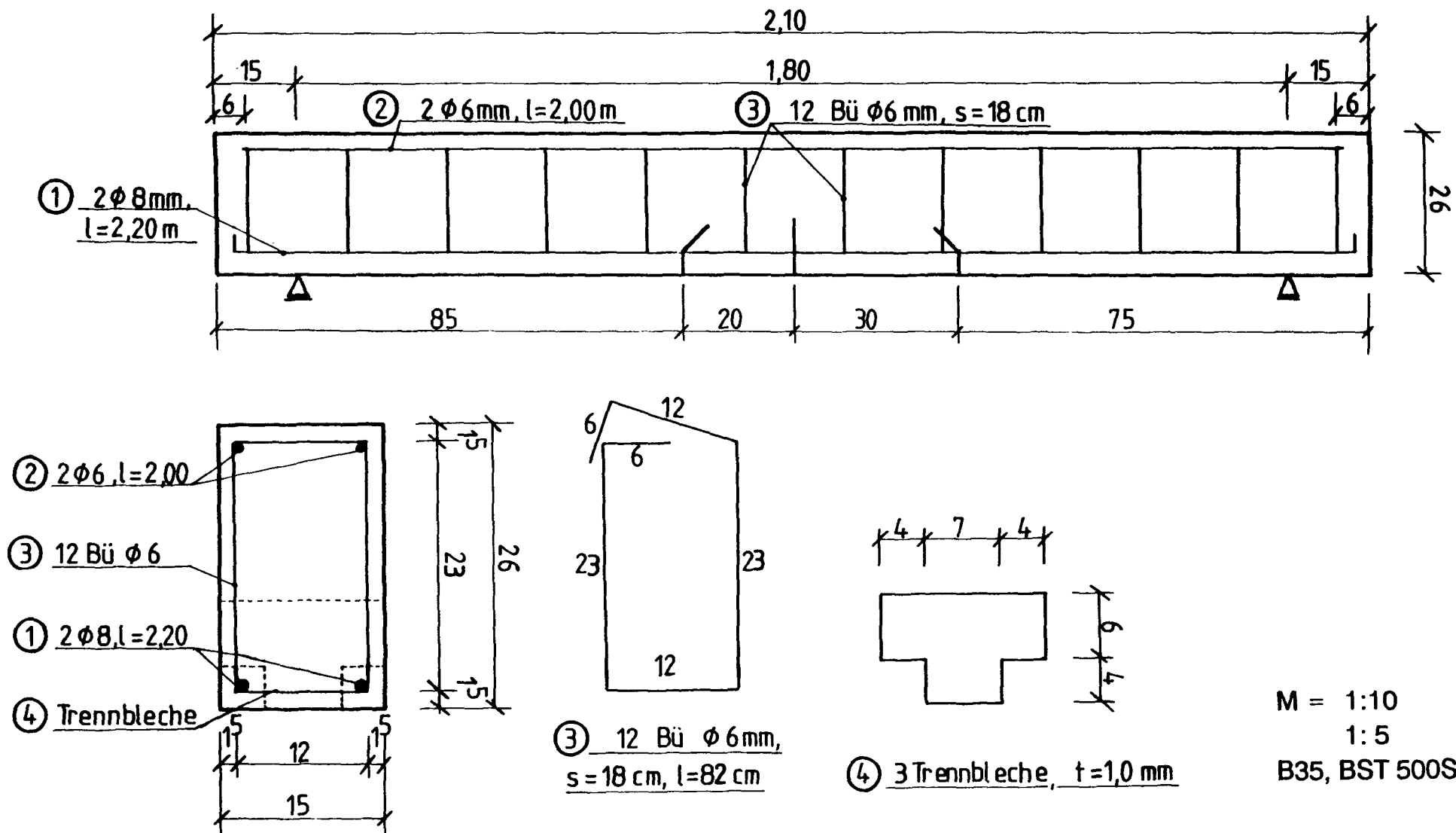


Bild 2.1: Bewehrungsplan der Versuchsbalken

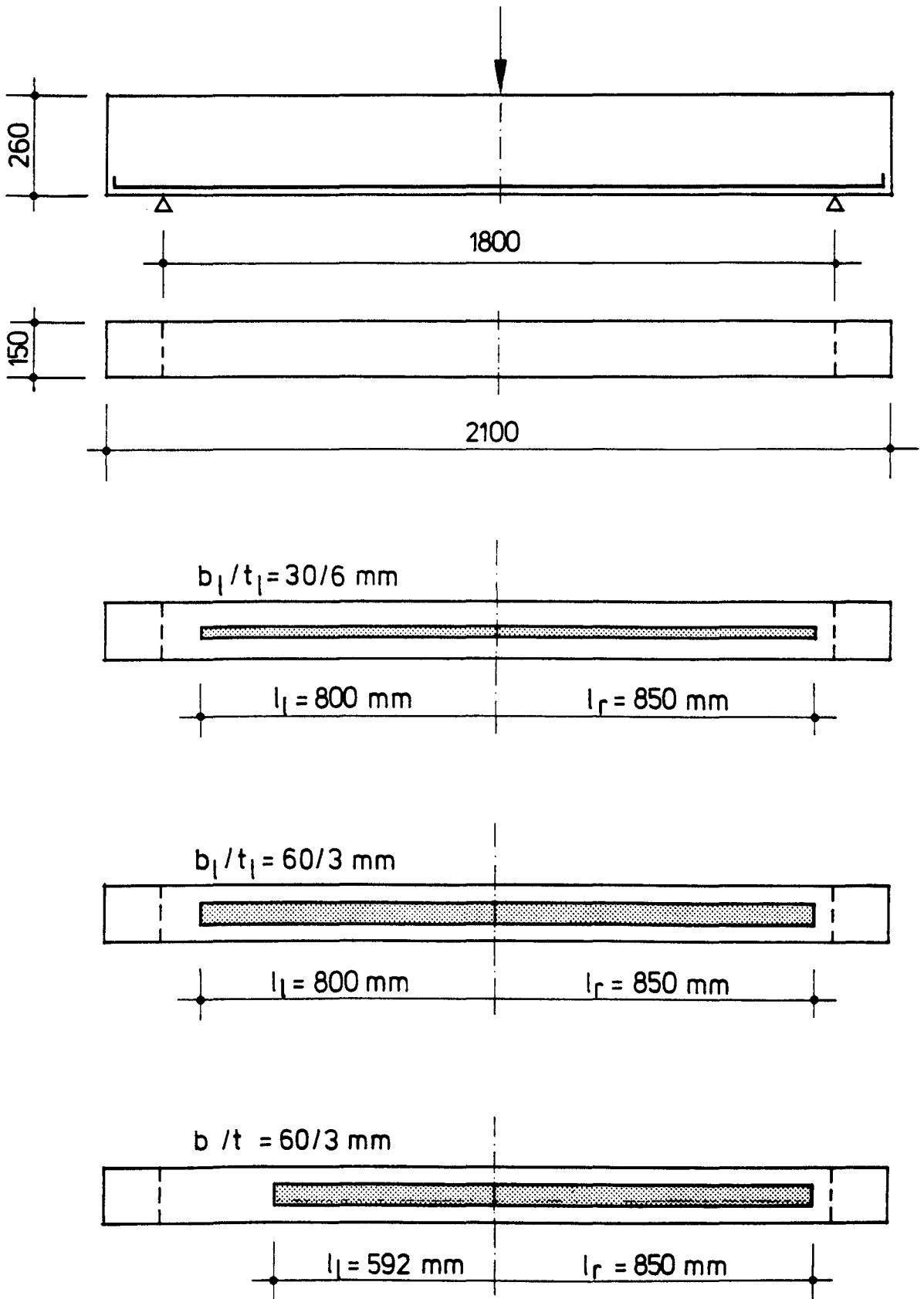


Bild 2.2: Versuchsparameter der dynamischen Grundversuche

Balken	Ausbreitmaß	Verdichtungsmaß	Frischbeton- rohdichte	Würfeldruck-	Spaltzug- festigkeit	Haftzug-	E-Modul
	a	v	ρ	β_{WVD}	β_{SPVD}	β_{HVD}	E
	[cm]	-	[kg/dm ³]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^3$ [N/mm ²]
STAT1				52,0	2,89	2,95	26,2
STAT2	39,0	1,08	2,37	54,0	2,83	3,62	26,8
DYN3				46,0	3,23	3,51	26,3
DYN4	40,0	1,06	2,3	47,0	2,84	2,80	25,7
DYN5	40,0	1,10	2,39				
DYN6				50,8	3,11	3,14	28,6
DYN7	40,0	1,08	2,36	49,7	2,98	2,83	28,9
DYN8				55,9	2,95	3,31	28,8
DYN9	37,0	1,09	2,38	56,0	2,87	3,67	28,5
DYN10				50,3	3,03	2,94	28,8
DYN11	38,0	1,08	2,40	50,2	2,97	2,62	28,0

Tab. 3.1: Ergebnisse der Betonprüfung

Balken	Ausbreitmaß	Verdichtungsmaß	Frischbeton- rohdichte	Würfeldruck-	Spaltzug- festigkeit	Haftzug-	E-Modul
	a	v	ρ	β_{WVD}	β_{SPVD}	β_{HVD}	E
	[cm]	-	[kg/dm ³]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^3$ [N/mm ²]
DYN12				57,6	3,10	2,89	28,3
DYN13	37,0	1,09	2,39	-	-	3,09	-
DYN14				48,6	2,55	3,60	26,7
DYN15	40,0	1,03	2,39	49,0	2,71	2,92	25,1
DYN16				-	-	-	-
DYN17	39,0	1,06	2,38	48,0	2,86	2,77	25,7
DYN18				47,6	2,70	2,61	26,4
DYN19	39,0	1,05	2,38	43,0	2,58	-	24,9
DYN20				53,0	3,14	3,16	27,1
DYN21	40,0	1,05	2,39	54,9	2,84	-	26,2

Tab. 3.1: (Fortsetzung)

Balken	Ausbreitmaß	Verdichtungsmaß	Frischbeton- rohdichte	Würfeldruck-	Spaltzug- festigkeit	Haftzug-	E-Modul
	a	v	ρ	β_{WVD}	β_{SPVD}	β_{HVD}	E
	[cm]	-	[kg/dm ³]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^3$ [N/mm ²]
DYN22	40,0	1,06	2,37	45,8	2,93	2,63	24,1
DYN23				44,0	2,61	-	23,7
DYN24	40,0	1,04	2,35	51,9	2,75	2,65	23,2
DYN25				47,7	3,05	-	23,6
DYN26	38,0	1,05	2,63	48,6	3,38	-	27,5
DYN27				49,7	3,02	-	28,5
DYN28				51,4	3,07	-	25,4
STAT29				47,6	3,38	2,63	25,5
STAT30				47,6	2,73	2,79	26,2

Tab. 3.1: (Fortsetzung)

Balken	Ausbreitmaß	Verdichtungsmaß	Frischbeton- rohdichte	Würfeldruck-	Spaltzug- festigkeit	Haftzug-	E-Modul
	a	v	ρ	β_{WVD}	β_{SPVD}	β_{HVD}	E
	[cm]	-	[kg/dm ³]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^3$ [N/mm ²]
STAT31	39,0	1,04	2,35	50,7	3,37	2,94	27,9
DYN32				-	-	2,96	27,3
DYN33				50,0	3,46	2,85	27,7
DYN34				50,1	3,39	3,48	27,3
DYN35				47,7	2,86	3,47	27,3
DYN36	34,0	1,08	2,35	-	-	3,50	-
DYN37				45,6	3,24	3,06	26,9
DYN38				49,0	3,32	3,00	27,4
DYN39				45,0	2,70	3,00	27,2
DYN40				47,6	3,12	3,13	26,6

Tab. 3.1: (Fortsetzung)

Balken	Ausbreitmaß	Verdichtungsmaß	Frischbeton- rohdichte	Würfeldruck-	Spaltzug- festigkeit	Haftzug-	E-Modul
	a	v	ρ	β_{WVD}	β_{SPVD}	β_{HVD}	E
	[cm]	-	[kg/dm ³]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^3$ [N/mm ²]
DYN41	37,0	1,07	2,38	56,0	3,38	3,35	30,4
DYN42				52,3	3,31	3,38	-
DYN43				-	-	-	-
DYN44				-	-	-	-
DYN45				-	-	-	-

Tab. 3.1: (Fortsetzung)

Balken Nr.	Innenbewehrung Ø8 mm			Bügelbewehrung Ø6 mm			Lasche		
	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Sl}	β_{Zl}	E_l
			$\cdot 10^5$			$\cdot 10^5$			$\cdot 10^5$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
STAT1	585	693	2,01	-	-	-	324	414	2,02
STAT2	585	693	2,01	-	-	-	324	414	2,02
DYN3	585	693	2,01	-	-	-	324	414	2,02
DYN4	585	693	2,01	-	-	-	324	414	2,02
DYN5	585	693	2,01	-	-	-	-	-	-
DYN6	620	747	2,01	-	-	-	302	434	2,02
DYN7	620	747	2,01	-	-	-	302	434	2,02
DYN8	620	747	2,01	-	-	-	302	434	2,02
DYN9	620	747	2,01	-	-	-	302	434	2,02
DYN10	620	747	2,01	-	-	-	302	434	2,02

Tab. 3.2: Ergebnisse der Stahlprüfung

Balken Nr.	Innenbewehrung ø8 mm			Bügelbewehrung ø6 mm			Lasche		
	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Sl}	β_{Zl}	E_l
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^5$ [N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^5$ [N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^5$ [N/mm ²]
DYN11	620	747	2,01	-	-	-	302	434	2,02
DYN12	620	747	2,01	-	-	-	302	434	2,02
DYN13	620	747	2,01	-	-	-	-	-	-
DYN14	620	747	2,01	-	-	-	302	434	2,02
DYN15	620	747	2,01	-	-	-	302	434	2,02
DYN16	568	641	2,00	-	-	-	-	-	-
DYN17	568	641	2,00	-	-	-	323	434	2,05
DYN18	568	641	2,00	-	-	-	323	434	2,05
DYN19	568	641	2,00	-	-	-	323	434	2,05
DYN20	568	641	2,00	-	-	-	323	434	2,05

Tab. 3.2: (Fortsetzung)

Balken Nr.	Innenbewehrung ø8 mm			Bügelbewehrung ø6 mm			Lasche		
	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Sl}	β_{Zl}	E_l
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^5$ [N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^5$ [N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^5$ [N/mm ²]
DYN21	568	641	2,00	-	-	-	323	434	2,05
DYN22	568	641	2,00	-	-	-	323	434	2,05
DYN23	568	641	2,00	-	-	-	323	434	2,05
DYN24	568	641	2,00	-	-	-	323	434	2,05
DYN25	568	641	2,00	-	-	-	323	434	2,05
DYN26	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05
DYN27	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05
DYN28	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05
STAT29	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05
STAT30	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05

Tab. 3.2: (Fortsetzung)

Balken Nr.	Innenbewehrung ø8 mm			Bügelbewehrung ø6 mm			Lasche		
	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Sl}	β_{Zl}	E_l
			$\cdot 10^5$			$\cdot 10^5$			$\cdot 10^5$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
STAT31	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05
DYN32	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05
DYN33	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05
DYN34	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05
DYN35	588	696	2,00	538	629	2,02	372	474	2,05
DYN36	530,3	667,7	2,01	596	697	2,03	-	-	-
DYN37	530,3	667,7	2,01	596	697	2,03	372	474	2,05
DYN38	530,3	667,7	2,01	596	697	2,03	372	474	2,05
DYN39	530,3	667,7	2,01	596	697	2,03	372	474	2,05
DYN40	530,3	667,7	2,01	596	697	2,03	323	434	2,05

Tab. 3.2: (Fortsetzung)

Balken Nr.	Innenbewehrung ø8 mm			Bügelbewehrung ø6 mm			Lasche		
	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Ss}	β_{Zs}	E_s	β_{Sl}	β_{Zl}	E_l
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^5$ [N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^5$ [N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	$\cdot 10^5$ [N/mm ²]
DYN41	530,3	667,7	2,01	596	697	2,03	323	434	2,05
DYN42	530,3	667,7	2,01	596	697	2,03	323	434	2,05

Tab. 3.2: (Fortsetzung)

Abmessungen			Masse	spez. Gewicht	Biegezug- festigkeit	Druck- festigkeit
l	b	h	m	ρ	β_{BZ}	β_D
[cm]	[cm]	[cm]	[g]	[g/dm ³]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
16,01	3,98	3,96	374,1	1,483	34,73	87,04
16,03	3,98	3,97	380,8	1,507	39,46	90,25
16,02	3,97	3,97	378,7	1,500	35,72	89,62
Mittel			377,9	1,497	36,60	89,00

Tab. 3.3: Ergebnisse der Klebstoffprüfung (XB 3074 von Ciba-Geigy)

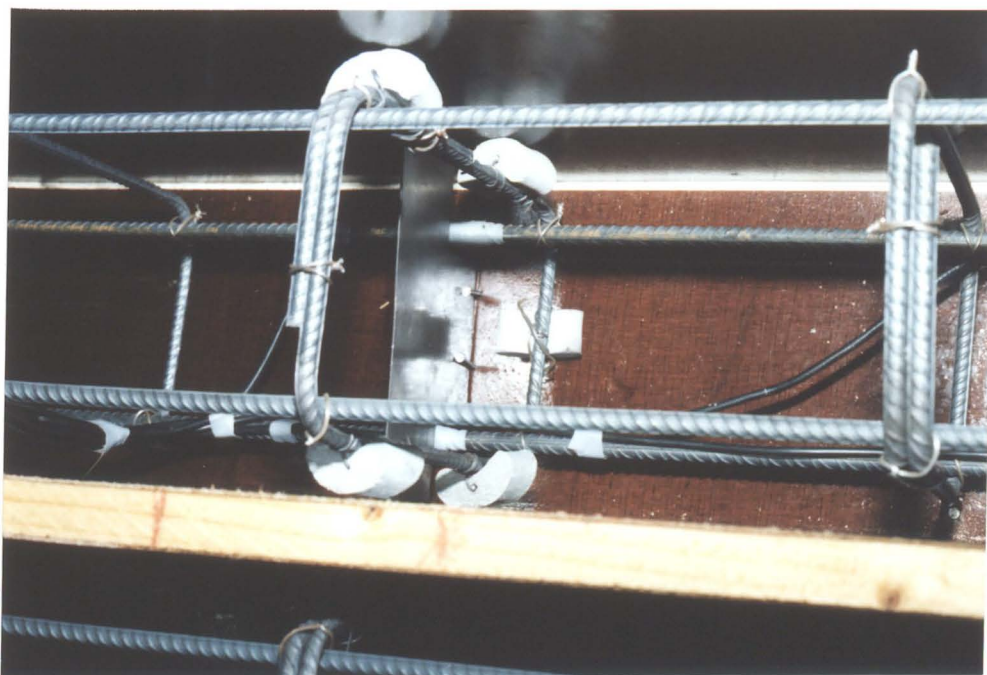


Bild 4.1: Herstellen der Versuchsbalken, hier Schalung und Bewehrung

Versuch	Oberlast						Bruch ($\epsilon_l=2,0 \text{ ‰}$)						Bruch ($\epsilon_l=5,0 \text{ ‰}$)					
	F_v^0 [kN]	M^0 [kNm]	ϵ_s^0 [‰]	Z_s^0 [kN]	ϵ_l^0 [‰]	Z_l^0 [kN]	F_{vu} [kN]	M_u [kNm]	ϵ_{su} [‰]	Z_{su} [kN]	ϵ_{lu} [‰]	Z_{lu} [kN]	F_{vu} [kN]	M_u [kNm]	ϵ_{su} [‰]	Z_{su} [kN]	ϵ_{lu} [‰]	Z_{lu} [kN]
STAT1							48,9	22,0	1,77	35,9	2,0	58,3	61,1	27,5	4,5	59,1	5,0	58,3
STAT2							48,9	22,0	1,77	35,9	2,0	58,3	61,1	27,5	4,5	59,1	5,0	58,3
DYN3	30,0	13,5	0,94	19,0	1,07	38,9	48,9	22,0	1,80	36,5	2,0	58,3	60,9	27,4	4,5	59,1	5,0	58,3
DYN4	40,0	18,0	1,26	25,6	1,42	51,6	48,9	22,0	1,80	36,5	2,0	58,3	60,9	27,4	4,5	59,1	5,0	58,3
DYN5																		
DYN6	30,0	13,5	0,94	19,1	1,07	38,9	46,7	21,0	1,76	35,7	2,0	54,4	60,7	27,3	4,5	62,6	5,0	54,4
DYN7	35,0	15,8	1,10	22,3	1,25	45,5	46,7	21,0	1,77	35,9	2,0	54,4	60,7	27,3	4,5	62,6	5,0	54,4
DYN8	35,0	15,8	1,10	22,3	1,24	54,1	46,9	21,1	1,77	35,9	2,0	54,4	60,7	27,3	4,5	62,6	5,0	54,4
DYN9	33,0	14,9	1,04	21,1	1,17	42,5	46,9	21,1	1,77	35,9	2,0	54,4	60,7	27,3	4,5	62,6	5,0	54,4
DYN10	35,0	15,8	1,10	22,3	1,24	45,1	46,7	21,0	1,77	35,9	2,0	54,4	60,7	27,3	4,5	62,6	5,0	54,4
DYN11	38,0	17,1	1,20	24,4	1,35	49,1	46,7	21,0	1,77	35,9	2,0	54,4	60,7	27,3	4,5	62,6	5,0	54,4
DYN12	40,0	18,0	1,26	25,6	1,42	51,6	47,1	21,2	1,79	36,3	2,0	54,4	60,9	27,4	4,5	62,6	5,0	54,4

Tab. 5.1: Schnittgrößen unter Oberlast und im Bruchzustand, ermittelt mit vorhandenen Materialfestigkeiten

Versuch	Oberlast						Bruch ($\epsilon_l=2,0 \text{ ‰}$)						Bruch ($\epsilon_l=5,0 \text{ ‰}$)					
	F_v^o [kN]	M^o [kNm]	ϵ_s^o [‰]	Z_s^o [kN]	ϵ_l^o [‰]	Z_l^o [kN]	F_{vu} [kN]	M_u [kNm]	ϵ_{su} [‰]	Z_{su} [kN]	ϵ_{lu} [‰]	Z_{lu} [kN]	F_{vu} [kN]	M_u [kNm]	ϵ_{su} [‰]	Z_{su} [kN]	ϵ_{lu} [‰]	Z_{lu} [kN]
DYN13																		
DYN14	38,0	17,1	1,20	24,4	1,35	49,1	46,7	21,0	1,77	35,9	2,0	54,4	60,4	27,2	4,5	62,6	5,0	54,4
DYN15	34,0	15,3	1,07	21,7	1,21	44,0	46,7	21,0	1,77	35,9	2,0	54,4	60,7	27,3	4,5	62,6	5,0	54,4
DYN16																		
DYN17	31,0	14,0	0,97	19,6	1,10	40,6												
	36,0	16,2	1,13	22,8	1,27	46,9	48,7	21,9	1,79	37,0	2,0	58,1	60,0	27,0	4,5	57,3	5,0	58,1
DYN18	45,0	20,3	1,44	29,1	1,63	58,1 ¹⁾												
	50,0	22,5	1,92	38,8	2,16	58,1 ¹⁾	48,7	21,9	1,92	39,8	2,0	58,1	60,0	27,0	4,5	57,3	5,0	58,1
DYN19	45,0	20,3	1,45	29,3	1,64	58,1 ¹⁾	48,3	21,7	1,77	36,6	2,0	58,1	59,8	26,9	4,5	57,3	5,0	58,1
DYN20	40,0	18,0	1,25	25,3	1,40	51,7	48,7	21,9										
	45,0	20,3	1,40	28,3	1,59	58,1 ¹⁾	48,7	21,9	1,77	36,6	2,0	58,1	60,2	27,1	4,5	57,3	5,0	58,1
DYN21	45,0	20,3	1,41	28,5	1,58	58,1 ¹⁾	48,7	21,9	1,77	36,6	2,0	58,1	60,2	27,1	4,5	57,3	5,0	58,1
DYN22	45,0	20,3	1,44	29,1	1,62	58,1 ¹⁾	48,4	21,8	1,78	36,8	2,0	58,1	59,8	26,9	4,5	57,3	5,0	58,1

¹⁾ Streckgrenze in Feldmitte erreicht

Tab. 5.1: (Fortsetzung)

Versuch	Oberlast						Bruch ($\epsilon_l=2,0 \text{ ‰}$)						Bruch ($\epsilon_l=5,0 \text{ ‰}$)					
	F_v^0 [kN]	M^0 [kNm]	ϵ_s^0 [‰]	Z_s^0 [kN]	ϵ_l^0 [‰]	Z_l^0 [kN]	F_{vu} [kN]	M_u [kNm]	ϵ_{su} [‰]	Z_{su} [kN]	ϵ_{lu} [‰]	Z_{lu} [kN]	F_{vu} [kN]	M_u [kNm]	ϵ_{su} [‰]	Z_{su} [kN]	ϵ_{lu} [‰]	Z_{lu} [kN]
DYN23	40,0	18,0	1,26	25,5	1,42	52,4	48,4	21,8	1,78	36,8	2,0	58,1	59,8	26,9	4,5	57,3	5,0	58,1
DYN24	40,0	18,0	1,25	25,3	1,40	51,7	48,4	21,8	1,75	36,2	2,0	58,1	60,0	27,0	4,5	57,3	5,0	58,1
DYN25	45,0	20,3	1,43	28,9	1,62	58,1 ¹⁾	48,4	21,8	1,77	36,6	2,0	58,1	60,0	27,0	4,5	57,3	5,0	58,1
DYN26	35,0	15,8	1,09	22,0	1,23	45,4	53,0	23,9	1,78	36,9	2,0	67,0	65,6	29,5	4,5	59,4	5,0	67,0
DYN27	30,0	13,5	0,93	18,8	1,05	38,7	53,0	23,9	1,77	36,6	2,0	67,0	65,8	29,6	4,5	59,4	5,0	67,0
DYN28	35,0	15,8	1,09	22,0	1,23	45,4	53,0	23,9	1,76	36,4	2,0	67,0	65,8	29,6	4,5	59,4	5,0	67,0
STAT29							53,0	23,9	1,78	36,9	2,0	67,0	65,6	29,5	4,5	59,4	5,0	67,0
STAT30							53,3	24,0	1,80	37,3	2,0	67,0	65,8	29,6	4,5	59,4	5,0	67,0
STAT31							53,0	23,9	1,77	36,6	2,0	67,0	65,8	29,6	4,5	59,4	5,0	67,0
DYN32																		
DYN33	30,0	13,5	0,93	18,8	1,05	38,7	53,0	23,9	1,77	36,6	2,0	67,0	65,8	29,6	4,5	59,4	5,0	67,0
DYN34	45,0	20,3	1,40	28,3	1,58	58,3		23,9	1,77	36,6	2,0	67,0	65,8	29,6	4,5	59,4	5,0	67,0

¹⁾ Streckgrenze in Feldmitte erreicht

Tab. 5.1: (Fortsetzung)

Versuch	Oberlast						Bruch ($\epsilon_l=2,0 \text{ ‰}$)						Bruch ($\epsilon_l=5,0 \text{ ‰}$)					
	F_v^o [kN]	M^o [kNm]	ϵ_s^o [‰]	Z_s^o [kN]	ϵ_l^o [‰]	Z_l^o [kN]	F_{vu} [kN]	M_u [kNm]	ϵ_{su} [‰]	Z_{su} [kN]	ϵ_{lu} [‰]	Z_{lu} [kN]	F_{vu} [kN]	M_u [kNm]	ϵ_{su} [‰]	Z_{su} [kN]	ϵ_{lu} [‰]	Z_{lu} [kN]
DYN35	45,0	20,3	1,41	28,5	1,59	58,7	53,0	23,9	1,78	36,9	2,0	67,0	65,6	29,5	4,5	59,4	5,0	67,0
DYN36																		
DYN37	45,0	20,3	1,40	28,4	1,59	58,7	52,9	23,8	1,76	36,4	2,0	67,0	62,9	28,2	4,5	53,6	5,0	67,0
DYN38	45,0	20,3	1,40	28,4	1,58	58,3	53,1	23,9	1,76	36,6	2,0	67,0	62,9	28,3	4,5	53,6	5,0	67,0
DYN39	45,0	20,3	1,40	28,4	1,59	58,7	52,9	23,8	1,76	36,4	2,0	67,0	62,7	28,2	4,5	53,6	5,0	67,0
DYN40	40,0	18,0	1,25	25,4	1,41	52,0	48,2	21,7	1,74	36,0	2,0	58,1	58,2	26,2	4,5	53,6	5,0	58,1
DYN41	40,0	18,0	1,25	25,4	1,40	51,7	48,9	22,0	1,78	36,9	2,0	58,1	58,4	26,3	4,5	53,6	5,0	58,1
DYN42	40,0	18,0	1,25	25,4	1,40	51,7	48,9	22,0	1,78	36,9	2,0	58,1	58,4	26,3	4,5	53,6	5,0	58,1

Tab. 5.1: (Fortsetzung)

b_1	t_1	erf. $l_v^{1)}$		gew. l_v
		mit norm β_{S1}	mit ist β_{S1}	
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
30	6	1047	1907	583
60	3	524	954	583
60	3	524	954	375

$$1) \quad l_v = \frac{Z_L^2}{b_1^2 \cdot t_1 \cdot K \cdot \tau_K}$$

mit $K = 30 \text{ N/mm}^2$

$\tau_K = 11$ für $\beta_H = 2,8 \text{ N/mm}^2$

Tab. 5.2: Verankerungslängen

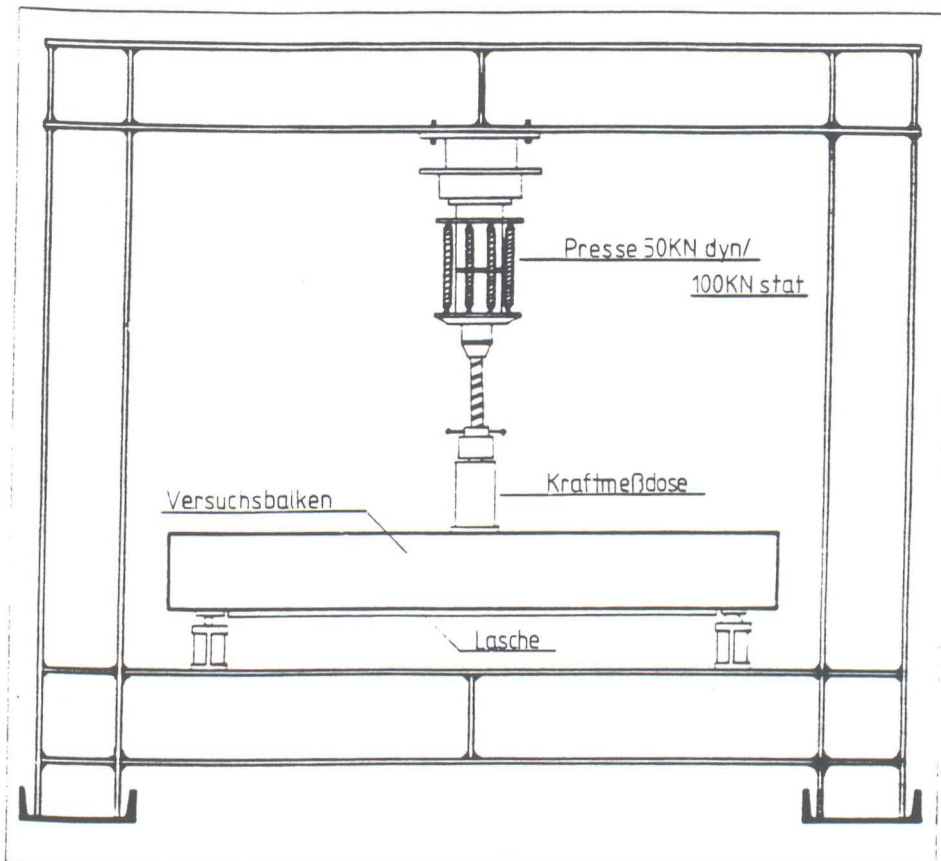


Bild 6.1: Versuchsstand

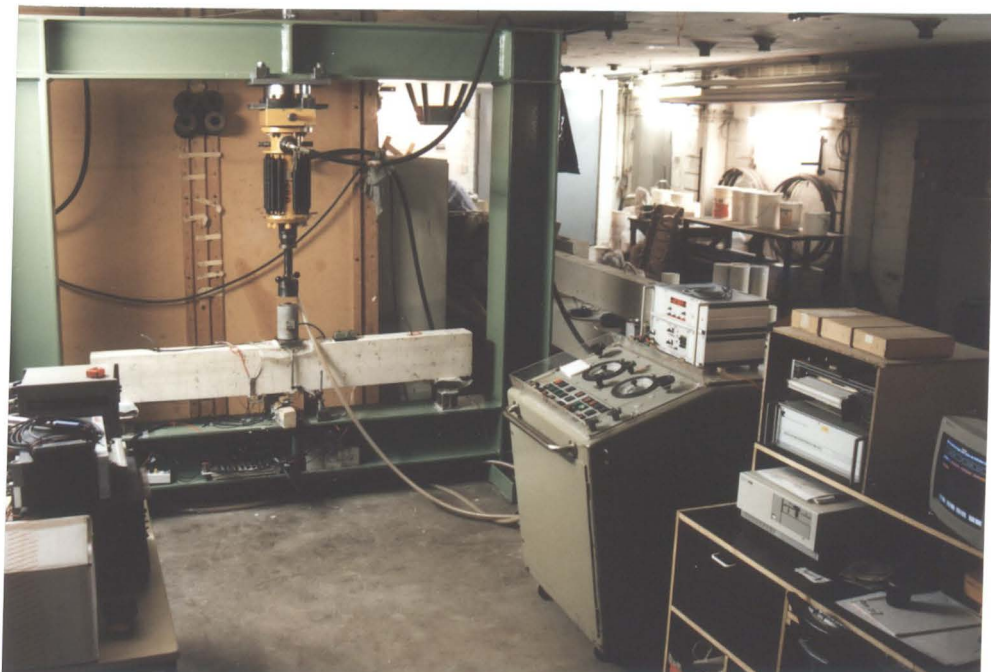


Bild 6.2: Versuchsstand und Meßeinrichtung

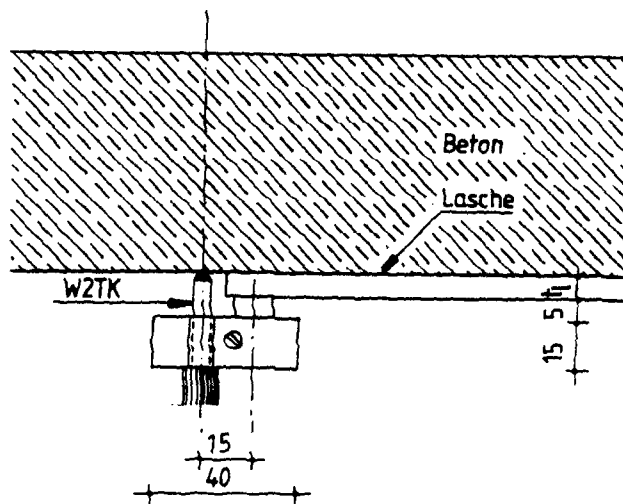


Bild 6.4: Wegaufnehmer zum Messen des Abhebens der Laschenenden

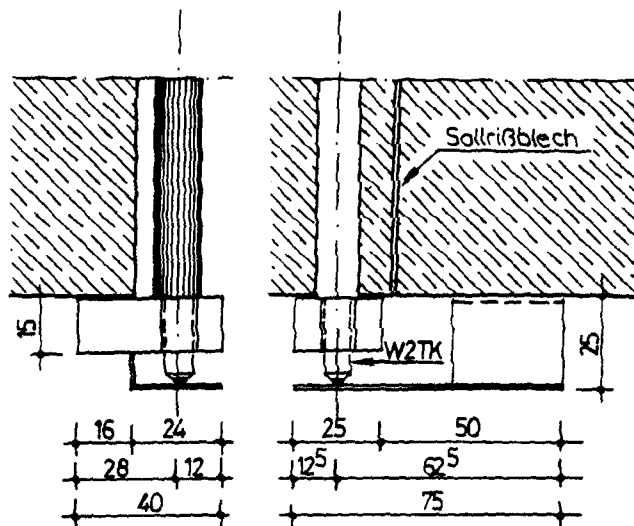


Bild 6.5: Wegaufnehmer zum Messen der vertikalen relativen Rißuferverschiebung

Balken Nr.	Lasche	Oberlast		Unterlast		Prüf- frequenz	Last- wechsel	Rest- festigkeit	stat. Bruchlast
	$b_1/t_1/l_1$	F^o	M^o	F^u	M^u	f	LW	F_R	F_u
	[mm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[Hz]		[kN]	[kN]
STAT1	30/6/800	-	-	-	-	-	-	-	60,0
STAT2	30/6/800	-	-	-	-	-	-	-	60,0
DYN3	30/6/800	30,0	13,5	3,5	1,58	4	$2 \cdot 10^6$	48,0	-
DYN4	30/6/800	40,0	18,0	3,5	1,58	4	7.300	-	-
DYN5	30/6/800								
DYN6	30/6/800	30,0	13,50	3,0	1,35	4	$2 \cdot 10^6$	67,5	-
DYN7	30/6/800	35,0	15,75	3,0	1,35	4	$2,02 \cdot 10^6$	-	-
DYN8	30/6/800	35,0	15,75	3,0	1,35	4	$2 \cdot 10^6$	69,8	-
DYN9	30/6/800	33,0	14,85	1,0	0,45	4	$4 \cdot 10^6$	70,8	-

Tab. 7.1: Übersicht über die durchgeführten Versuche (Stand 12/90)

Balken Nr.	Lasche	Oberlast		Unterlast		Prüf- frequenz	Last- wechsel	Rest- festigkeit	stat. Bruchlast
	$b_1/t_1/l_1$	F^o	M^o	F^u	M^u	f	LW	F_R	F_u
	[mm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[Hz]		[kN]	[kN]
DYN10	30/6/800	35,0	15,75	1,0	0,45	4	$2 \cdot 10^6$	64,8	-
DYN11	30/6/800	38,0	17,10	1,0	0,45	4	$2 \cdot 10^6$?	-
DYN12	30/6/800	40,0	18,0	1,5	0,68	4	305.000	-	-
DYN14	30/6/800	38,0	17,10	2,0	0,90	4	123.400	-	-
DYN15	30/6/800	34,0	15,30	1,0	0,45	4	236.700	-	-
DYN17	30/6/800	31,0	13,95	1,0	0,45	4	$5 \cdot 10^6$	-	-
		36,0	16,20	1,0	0,45	4	$2,6 \cdot 10^6$	-	-
DYN18	30/6/800	45-50	20,25-22,5	1,5	0,68	4	33.000	-	-
DYN19	30/6/800	45,0	20,25	1,5	0,68	4	115.200	-	-

Tab. 7.1: (Fortsetzung)

Balken Nr.	Lasche	Oberlast		Unterlast		Prüf- frequenz	Last- wechsel	Rest- festigkeit	stat. Bruchlast
	$b_1/t_1/l_1$	F^o	M^o	F^u	M^u	f	LW	F_R	F_u
	[mm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[Hz]		[kN]	[kN]
DYN20	30/6/800	40,0	18,0	1,5	0,68	4	$5 \cdot 10^6$	-	-
		45,0	20,25	1,5	0,68	4	727.000	-	-
DYN21	30/6/800	45,0	20,25	1,5	0,68	1	389.500	-	-
DYN22	30/6/800	45,0	20,25	1,5	0,68	4	328.600	-	-
DYN23	30/6/800	40,0	18,0	1,5	0,68	1	999.700	-	-
DYN24	30/6/800	40,0	18,0	1,5	0,68	4	2.135.600	-	-
DYN25	30/6/800	45	20,25	1,5	0,68	1	161.000	-	-
DYN40	30/6/800	40,0	18,0	1,5	0,68	4	1.300	-	-
DYN41	30/6/800	40,0	18,0	1,5	0,68	4	156.300	-	-

Tab. 7.1: (Fortsetzung)

Balken Nr.	Lasche	Oberlast		Unterlast		Prüf- frequenz	Last- wechsel	Rest- festigkeit	stat. Bruchlast
	$b_1/t_1/l_1$	F^o	M^o	F^u	M^u	f	LW	F_R	F_u
	[mm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[Hz]		[kN]	[kN]
DYN42	30/6/800	40,0	18,0	1,5	0,68	4	68.500	-	-
DYN26	60/3/592	35,0	15,75	1,5	0,68	4	402.000	-	-
DYN27	60/3/592	30,0	13,50	1,5	0,68	1	$2 \cdot 10^6$	56,0	-
DYN28	60/3/592	35,0	15,75	1,5	0,68	1	590.100	-	-
STAT29	60/3/592	-	-	-	-	-	-	53,0	-
STAT30	60/3/592	-	-	-	-	-	-	54,0	-
DYN33	60/3/592	30,0	13,50	1,5	0,68	4	$6,93 \cdot 10^6$	52,6	-
STAT31	60/3/800	-	-	-	-	-	-	-	80,0
DYN34	60/3/800	45,0	20,25	1,5	0,68	4	1.918.700	-	-

Tab. 7.1: (Fortsetzung)

Balken Nr.	Lasche	Oberlast		Unterlast		Prüf- frequenz	Last- wechsel	Rest- festigkeit	stat. Bruchlast
	$b_1/t_1/l_1$	F^o	M^o	F^u	M^u	f	LW	F_R	F_u
	[mm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[Hz]		[kN]	[kN]
DYN35	60/3/800	45,0	20,25	1,5	0,68	1	2.027.500	74,0	-
DYN37	60/3/800	45,0	20,25	1,5	0,68	1	1.108.500	-	-
DYN38	60/3/800	45,0	20,25	1,5	0,68	1	474.300	-	-
DYN39	60/3/800	45,0	20,25	1,5	0,68	1	1.459.900	-	-

Tab. 7.1: (Fortsetzung)



Bild 7.1.1: Verbundbruch im Beton, wenige Millimeter über der Klebschicht



Bild 7.1.2: Kohäsionsbruch im Klebstoff unter dynamischer Belastung mit anschließendem Betonbruch



Bild 7.1.3: Verbundbruch am Laschenende

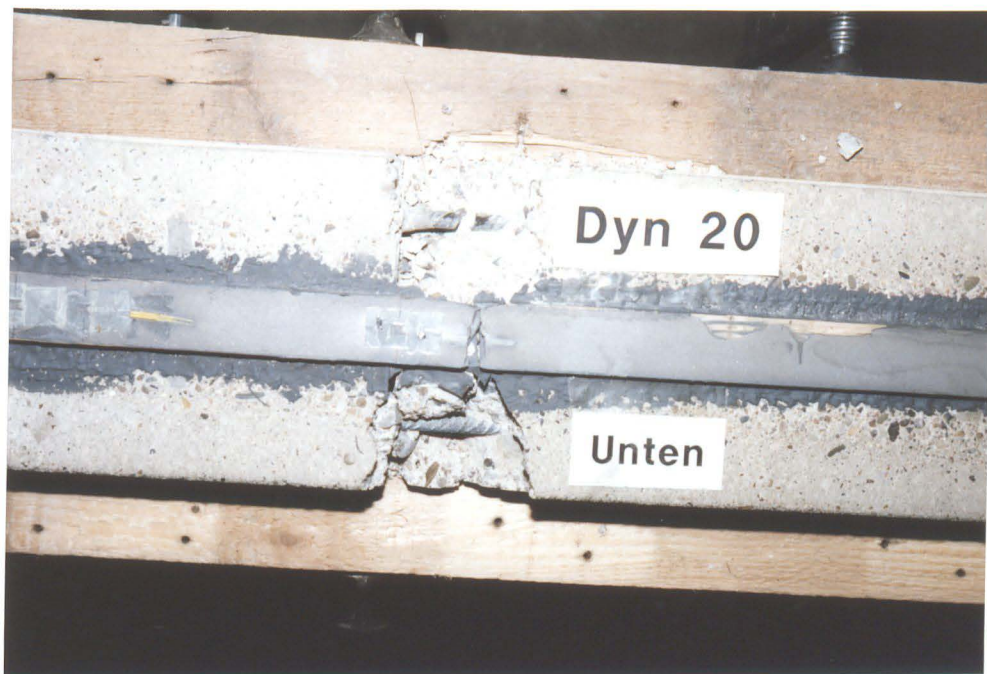


Bild 7.1.4: Versagen der Lasche



Bild 7.1.5: Dynamisches Versagen der Innenbewehrung (Detail aus Bild 7.1.4)



Bild 7.1.6: Betonbruch in Höhe der Innenbewehrung

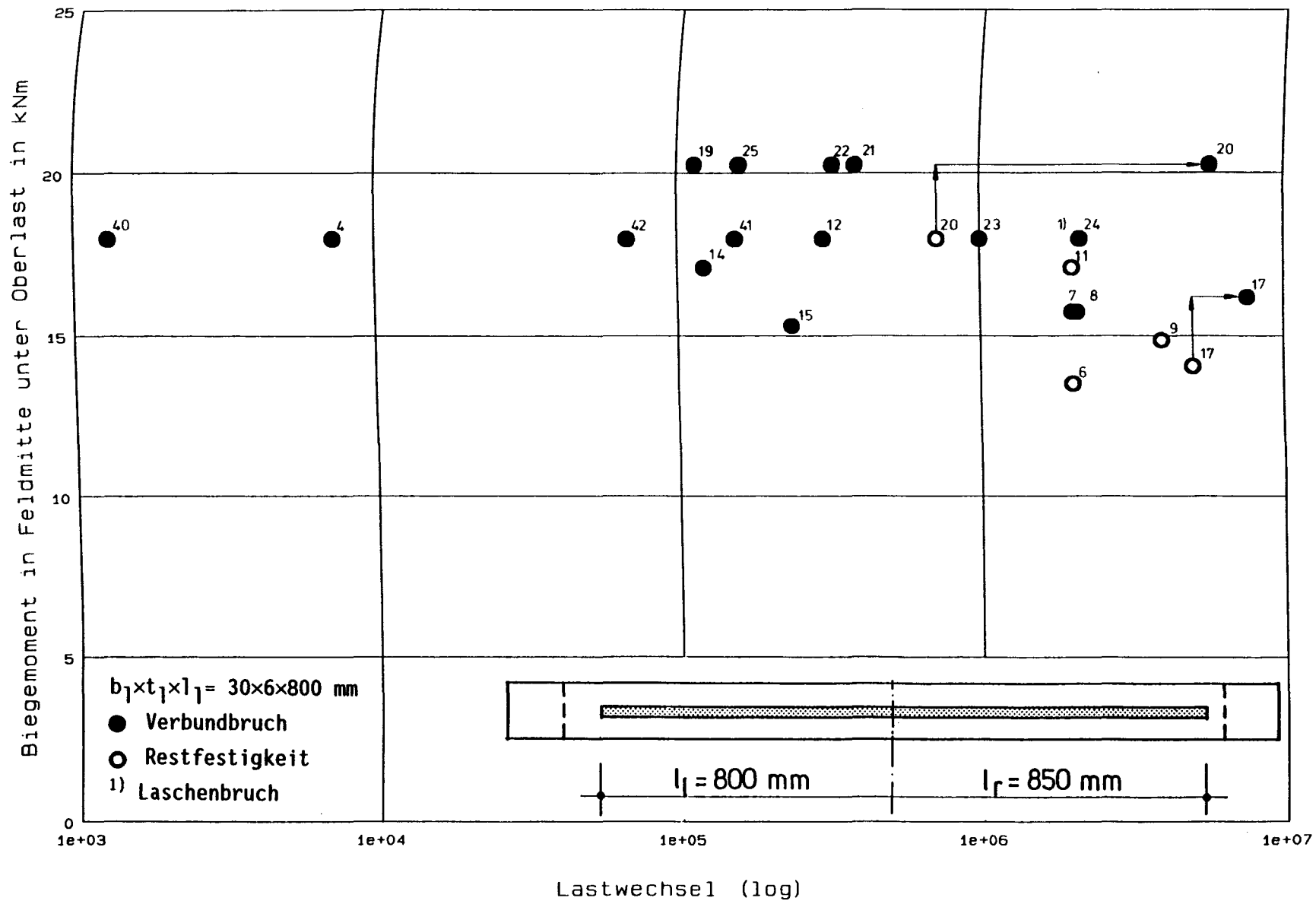


Bild 7.4.1: Darstellung der Bruchlastspielzahlen im Wöhlerdiagramm ($b_l \times t_l \times l_l = 30 \times 6 \times 800 \text{ mm}$)

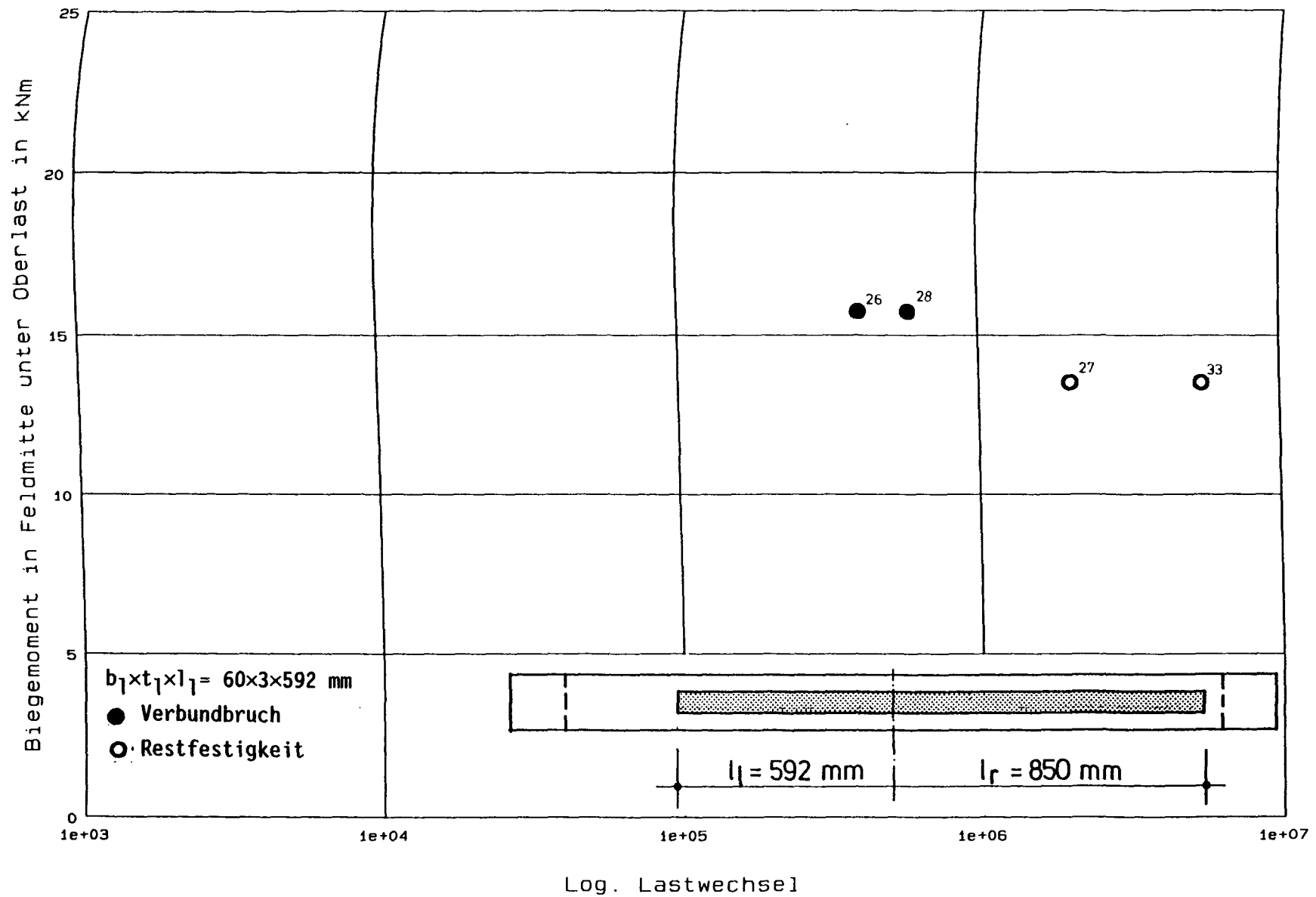


Bild 7.4.2: Darstellung der Bruchlastspielzahlen im Wöhlerdiagramm ($b_1 \times t_1 \times l_1 = 60 \times 3 \times 592 \text{ mm}$)

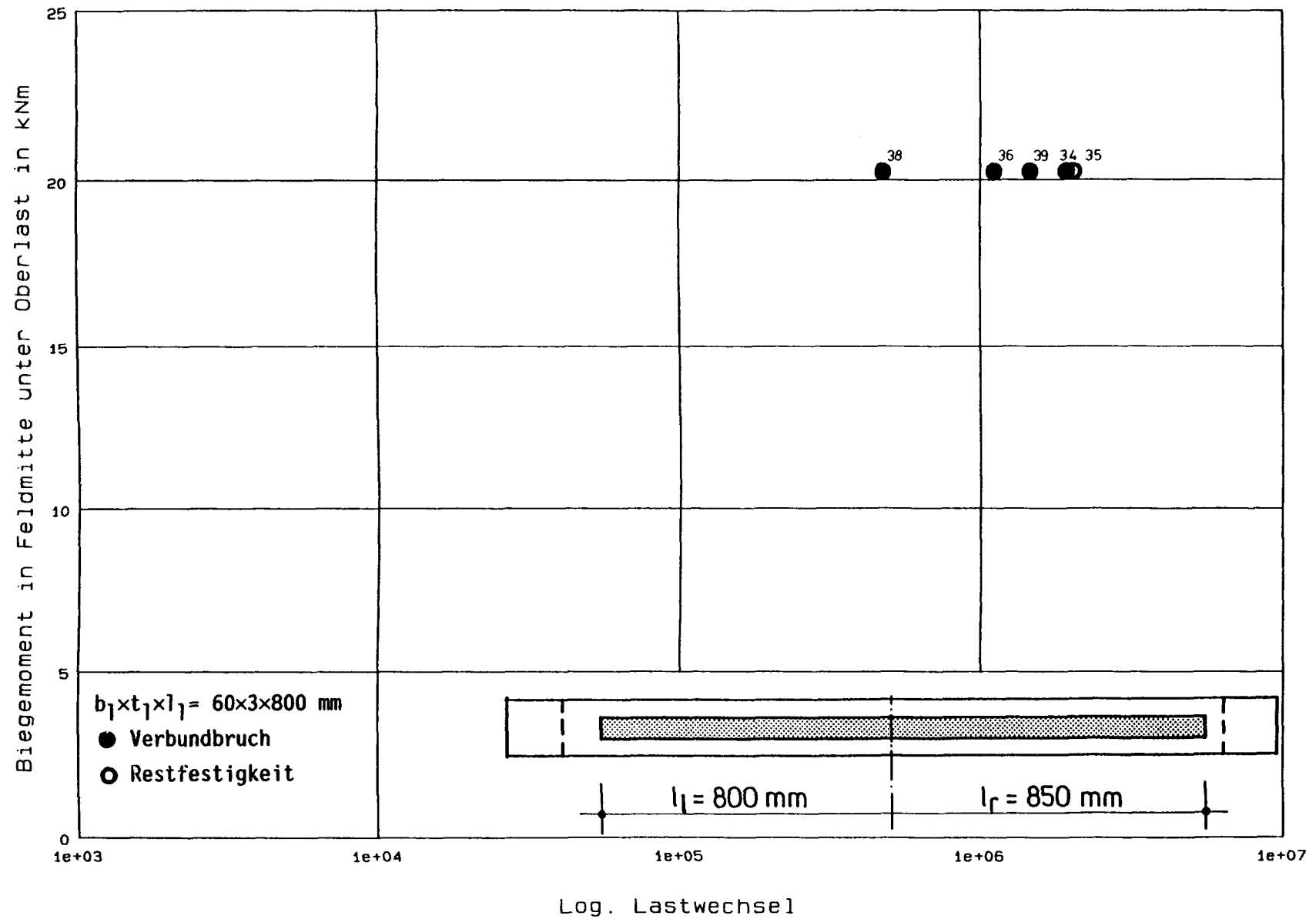
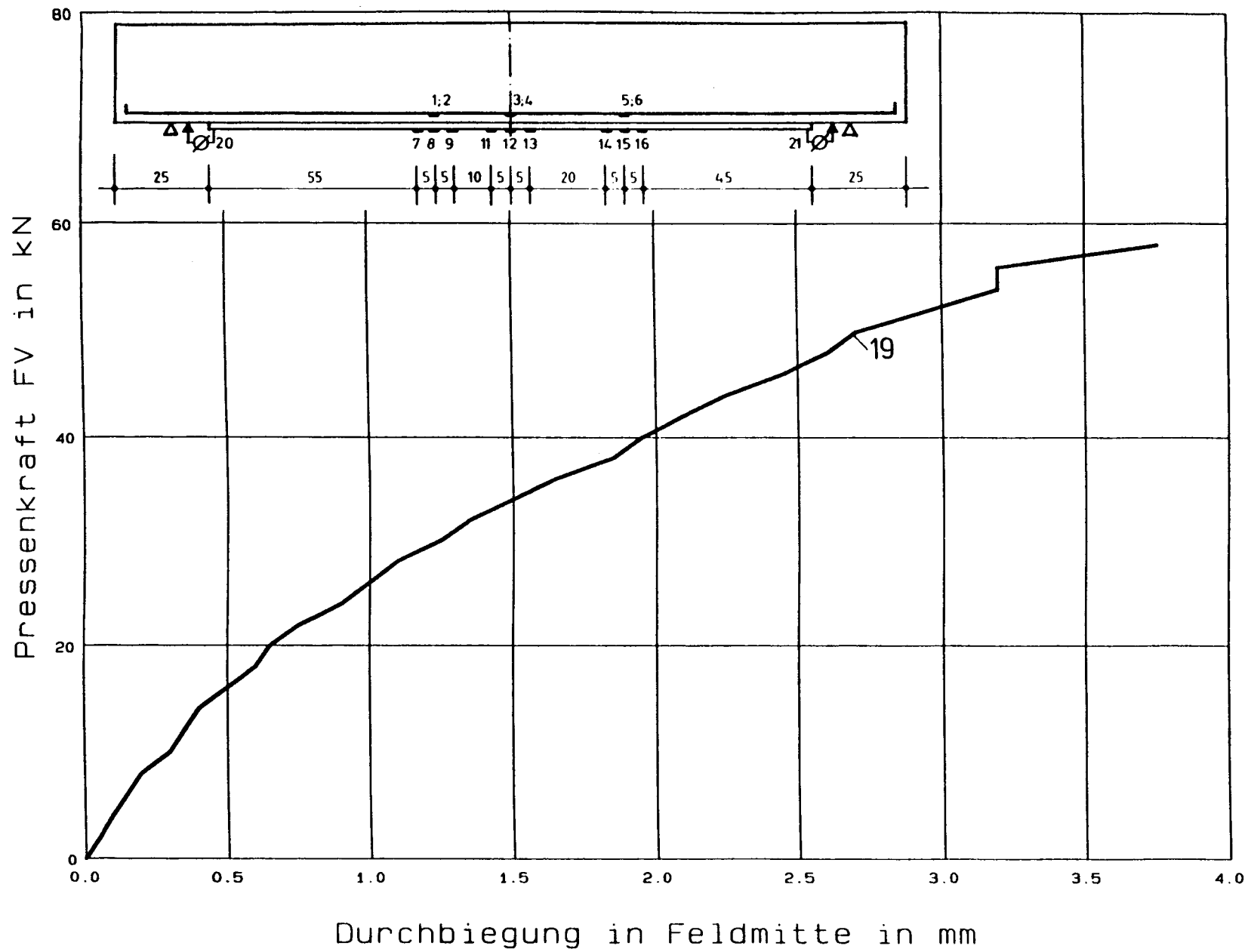
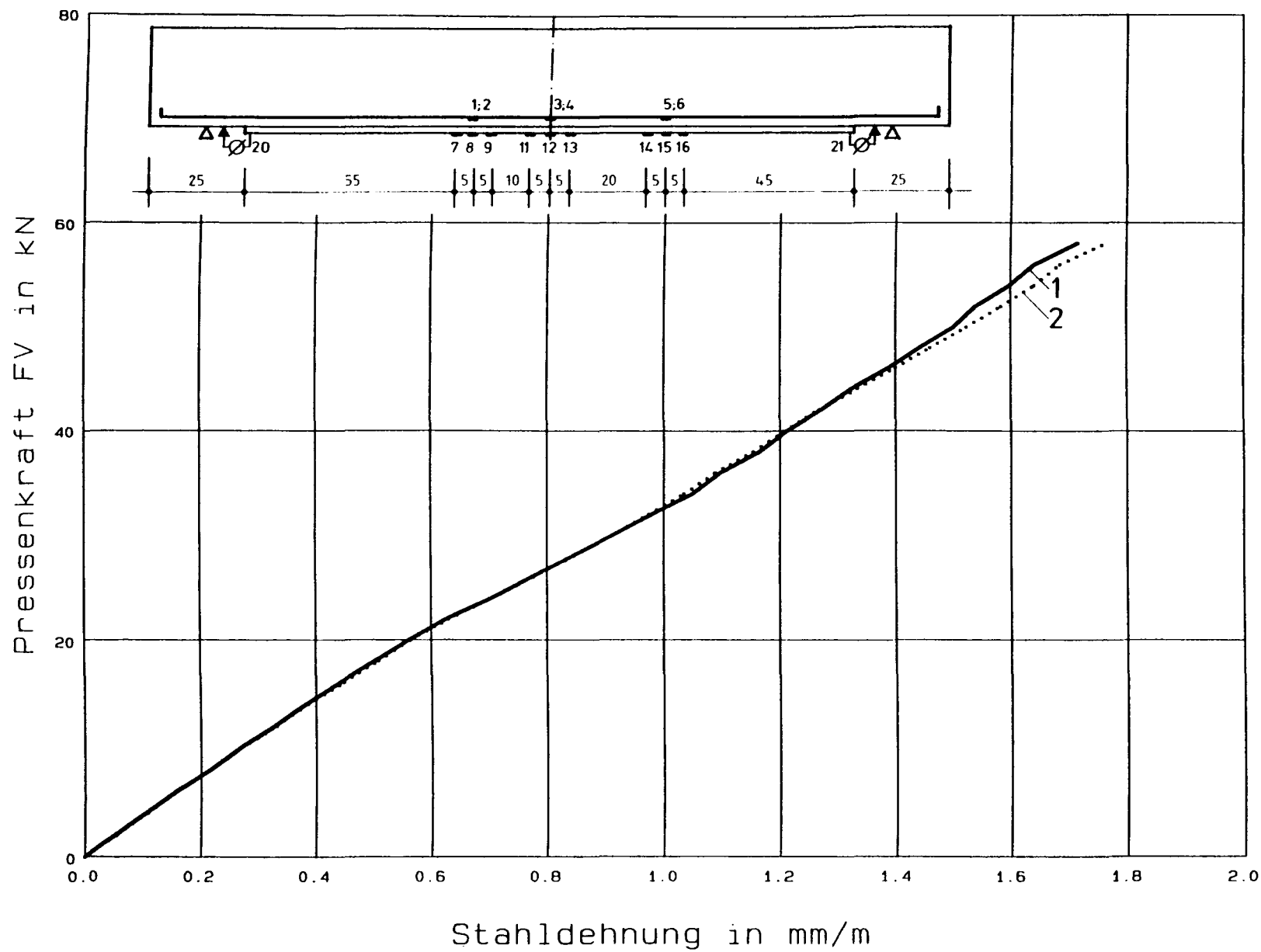
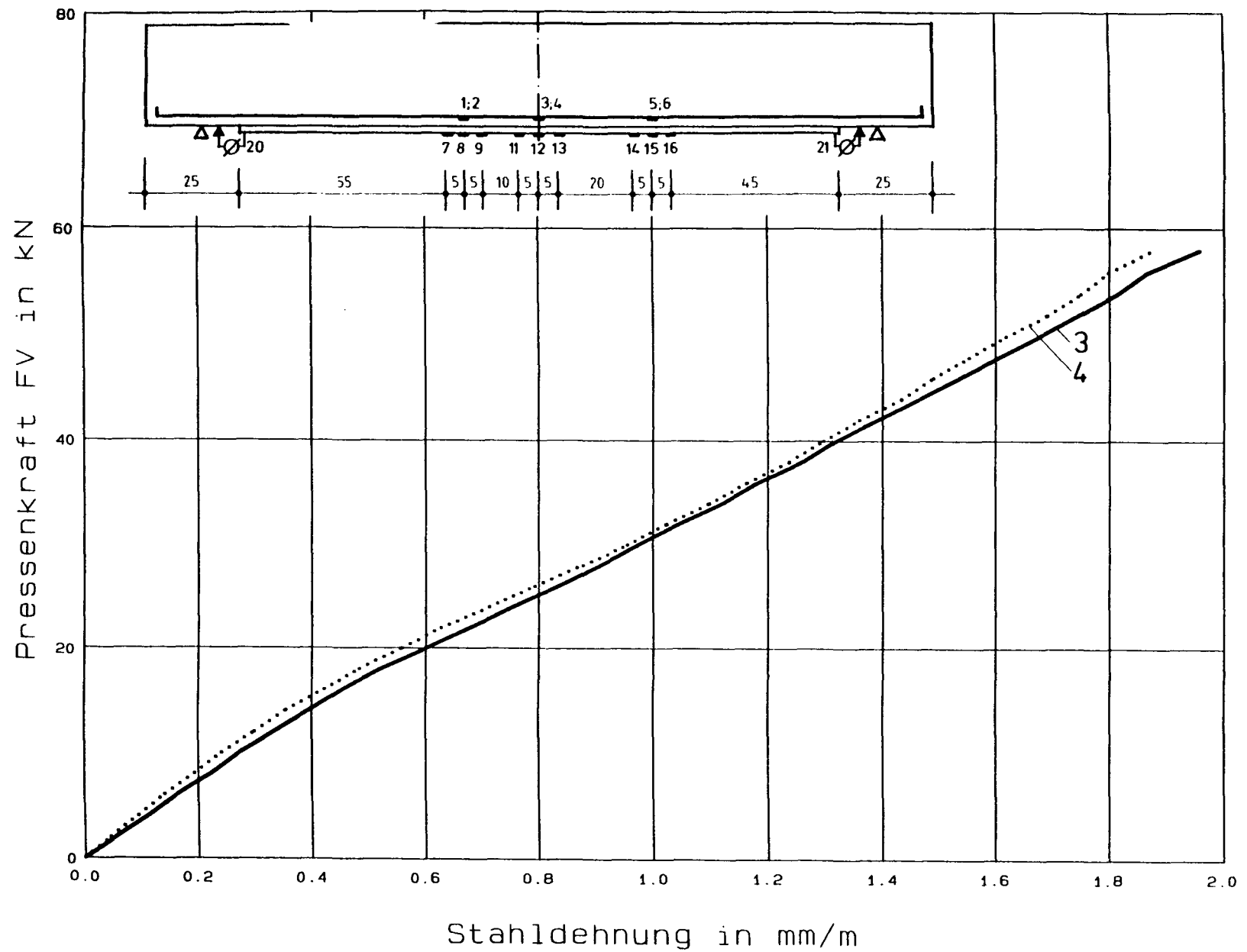


Bild 7.4.3: Darstellung der Bruchlastspielzahlen im Wöhlerdiagramm ($b_1 \times t_1 \times l_1 = 60 \times 3 \times 800 \text{ mm}$)

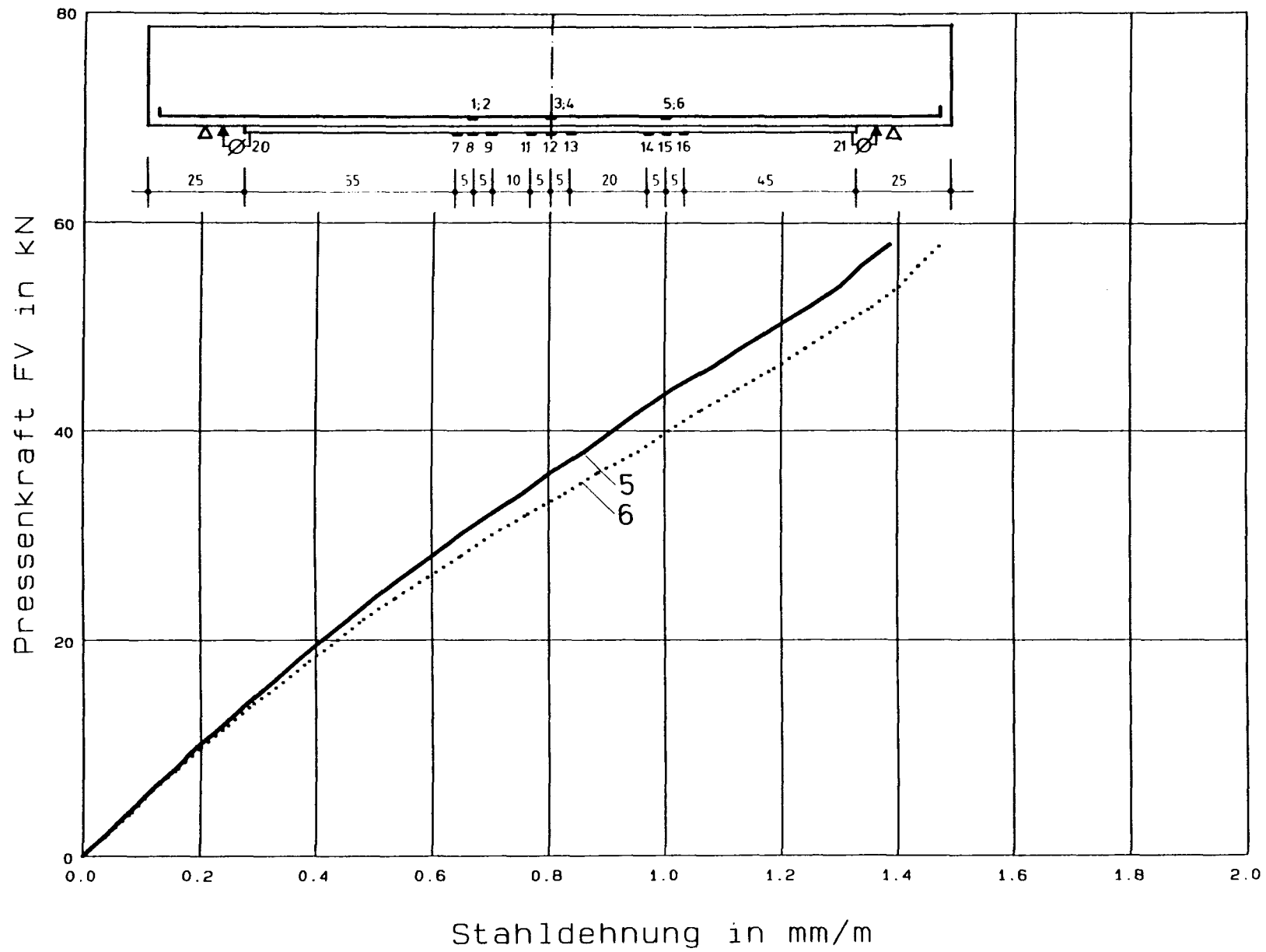


Versuch STAT1: Pressenkraft - Durchbiegung

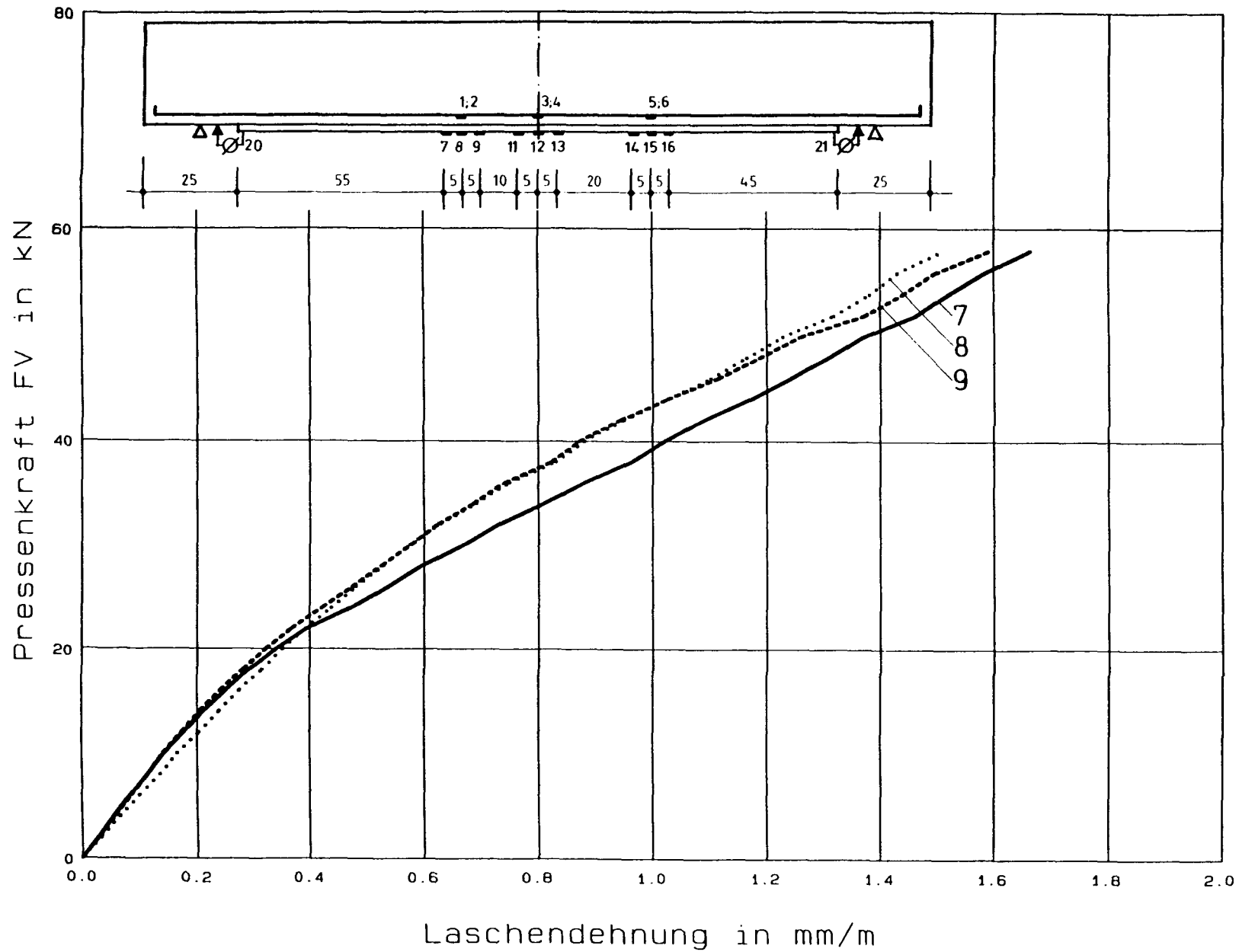
**Versuch STAT1: Pressenkraft - Stahldehnung**



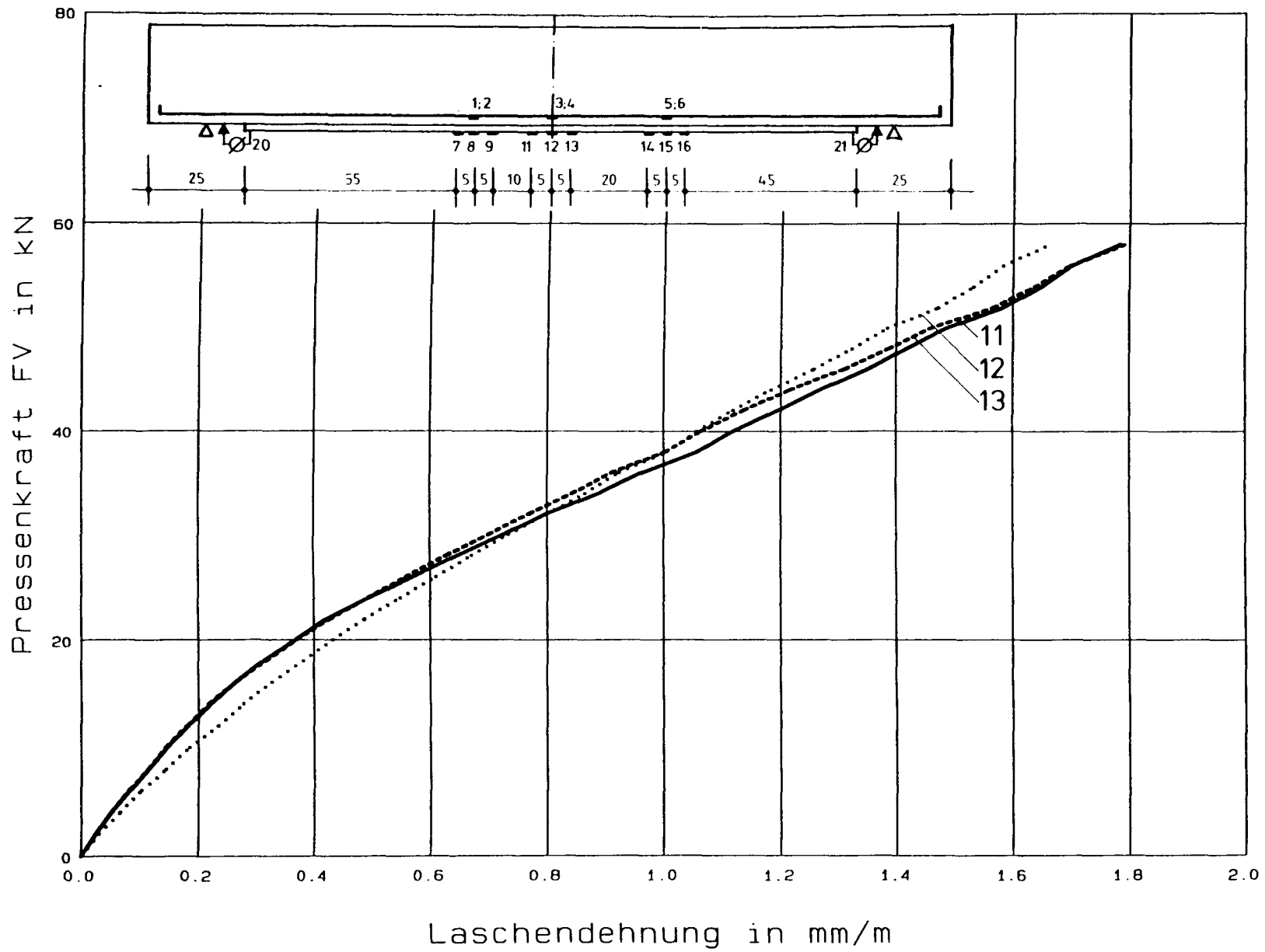
Versuch STAT1: Pressenkraft - Stahldehnung

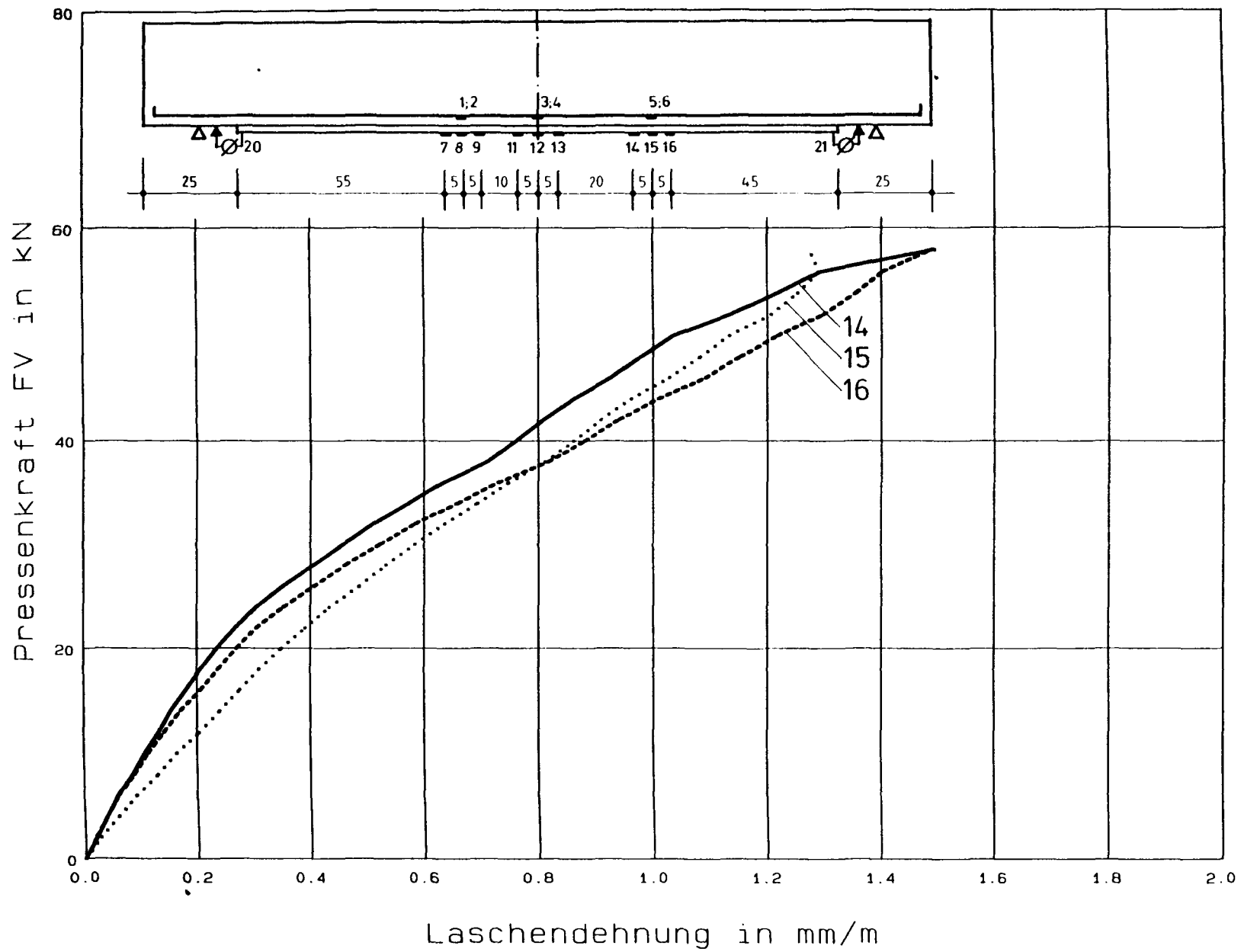


Versuch STAT1: Pressenkraft - Stahldehnung

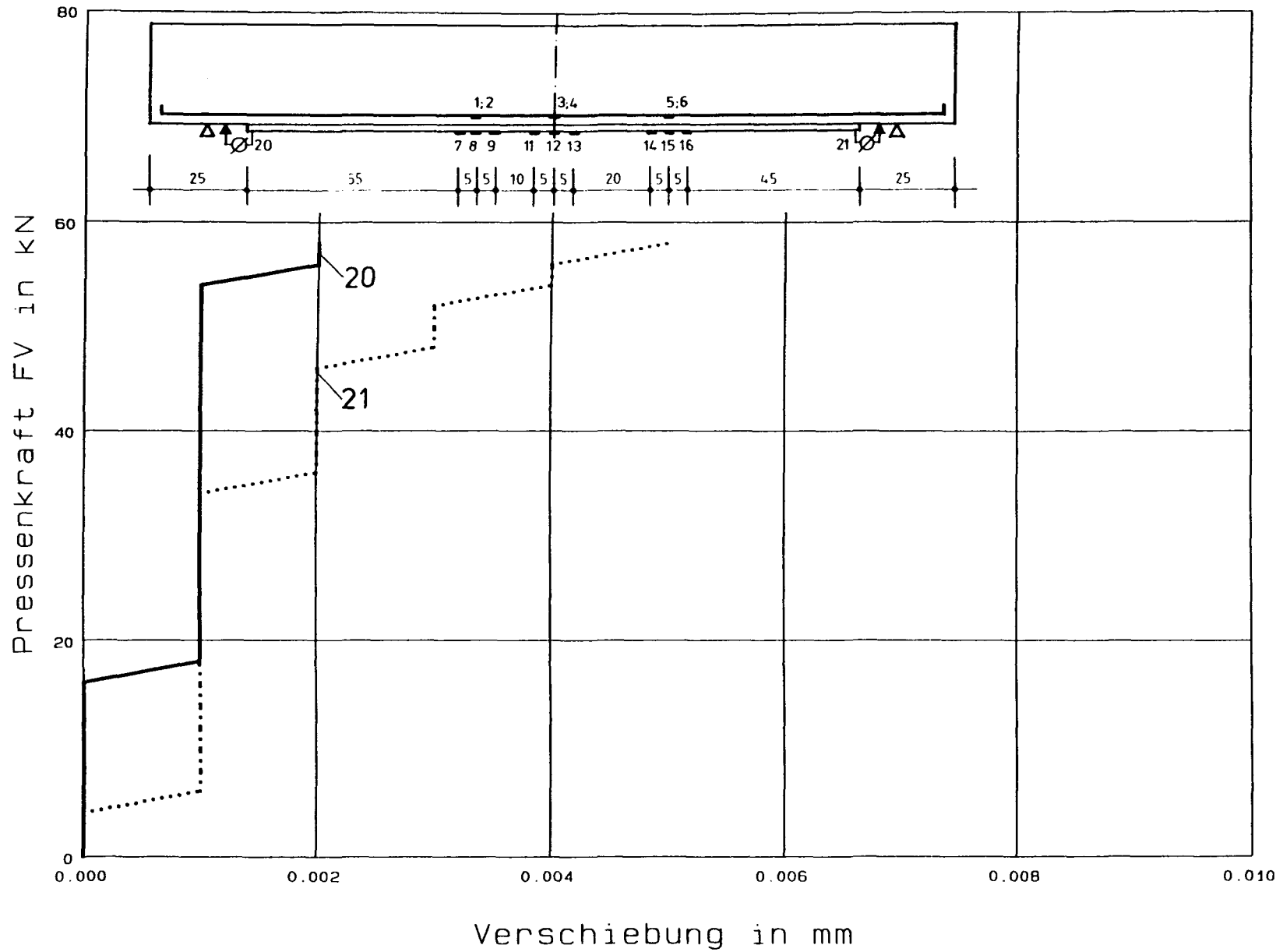


Versuch STAT1: Pressenkraft - Laschendechnik

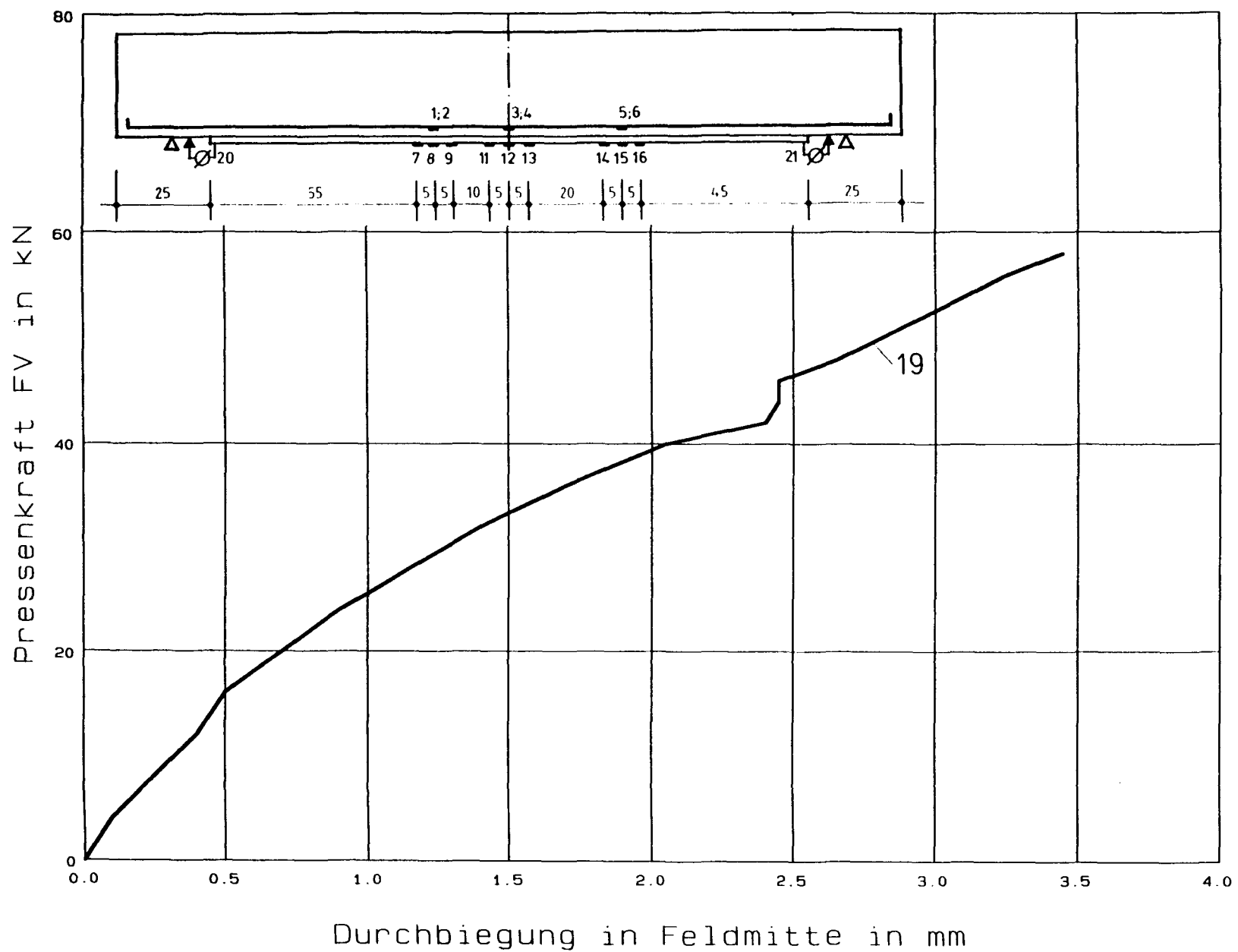
**Versuch STAT1: Pressenkraft - Laschendechnik**



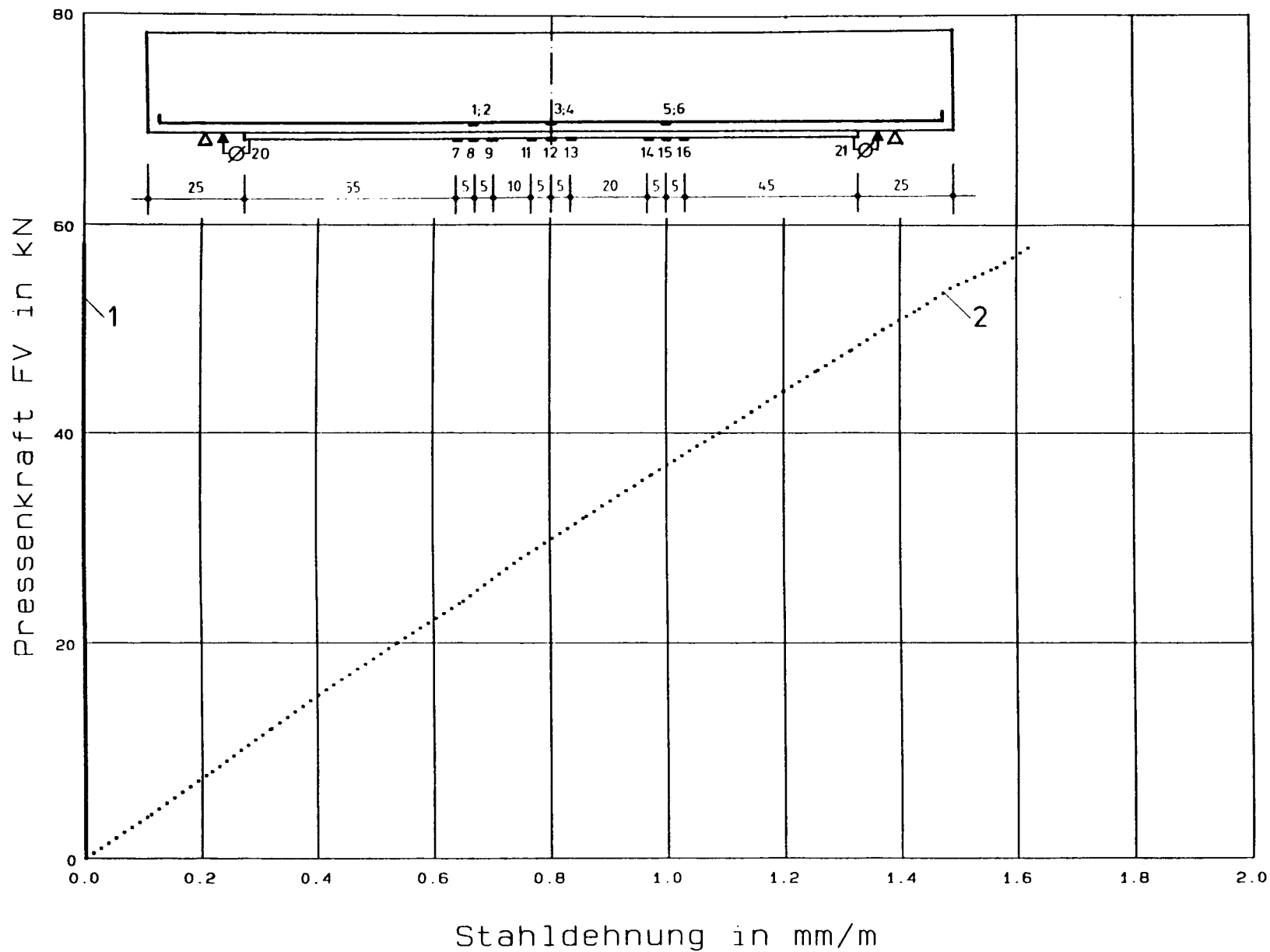
Versuch STAT1: Pressenkraft - Laschendechnik

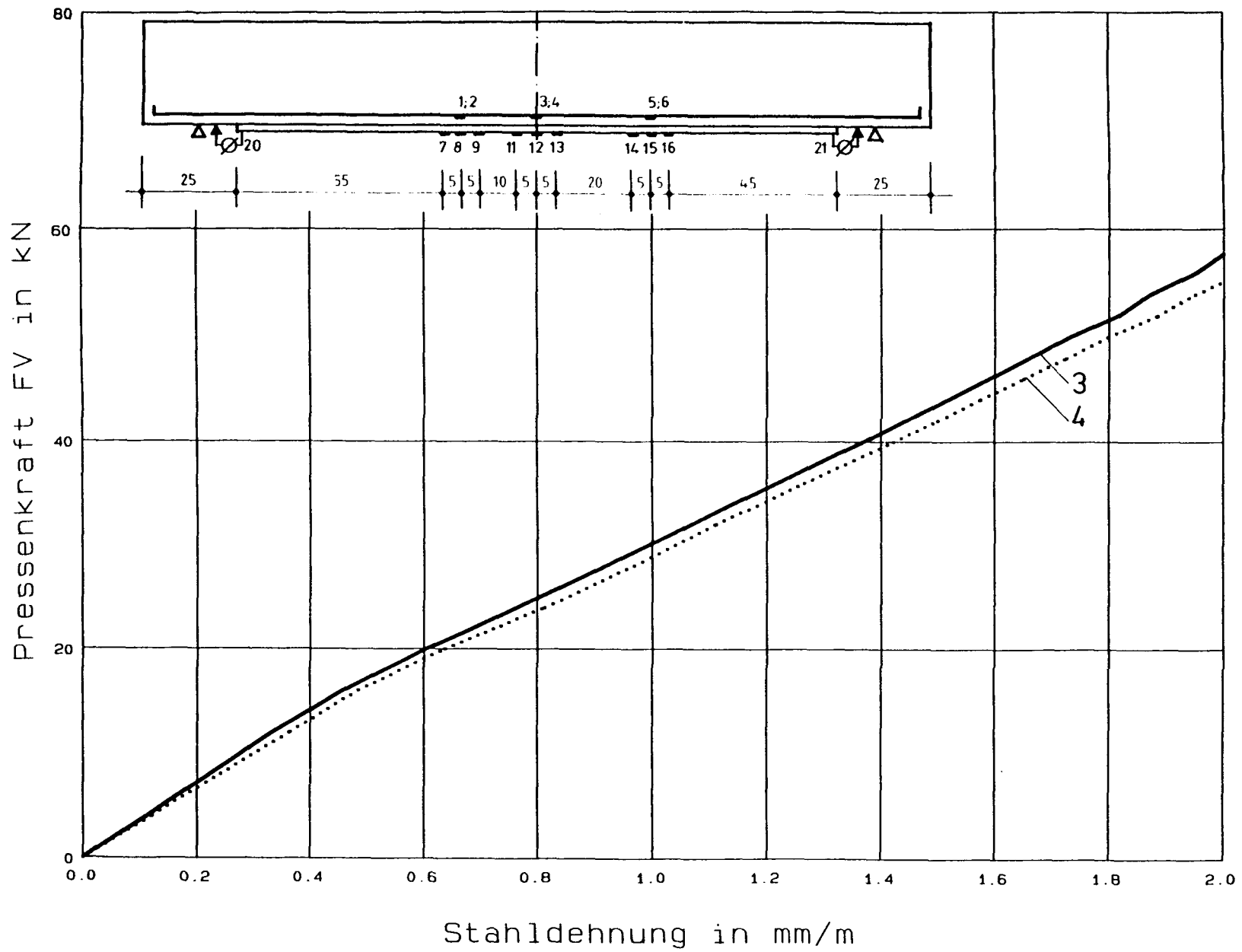


Versuch STAT1: Pressenkraft - Abheben des Laschenendes

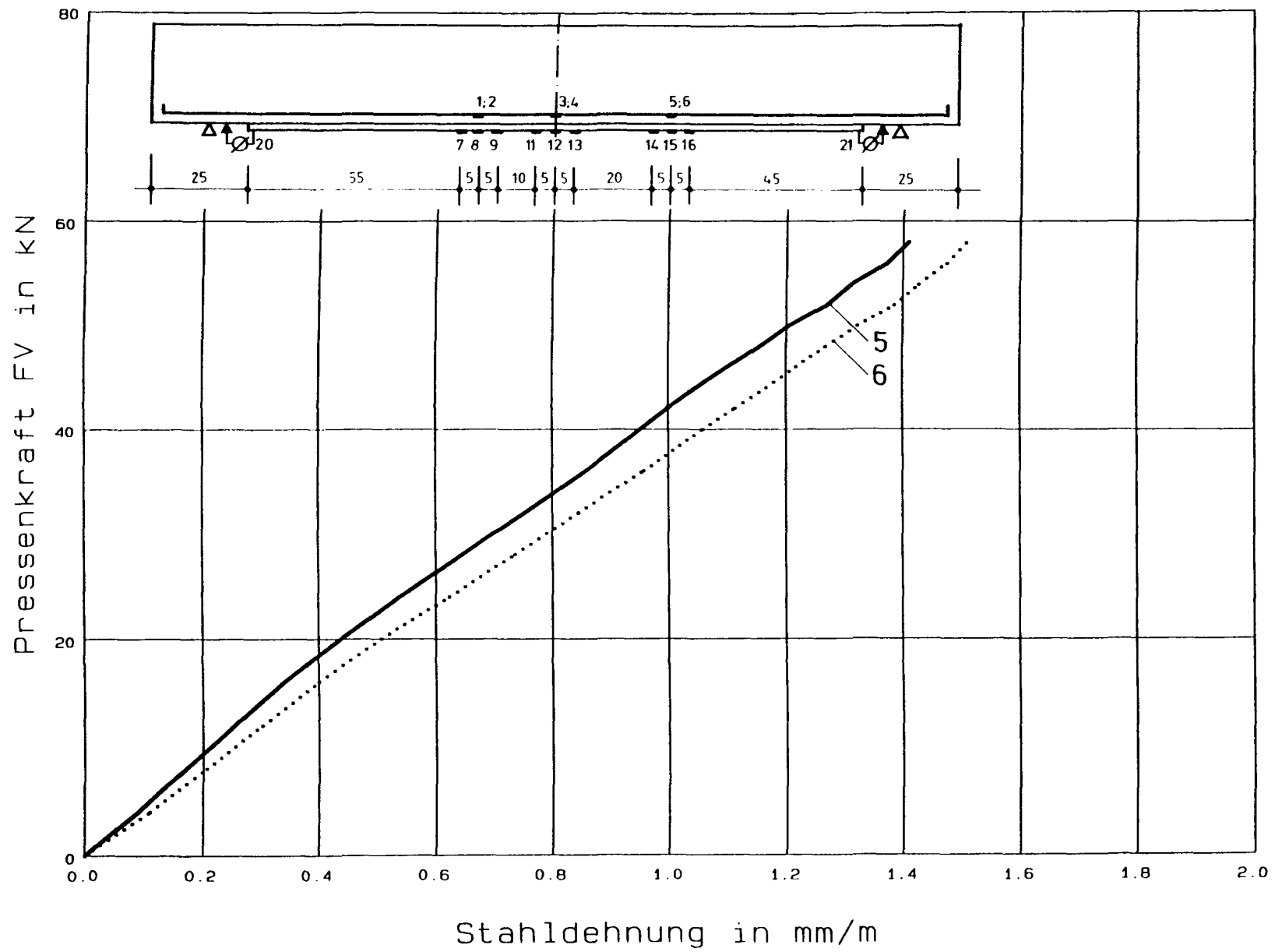


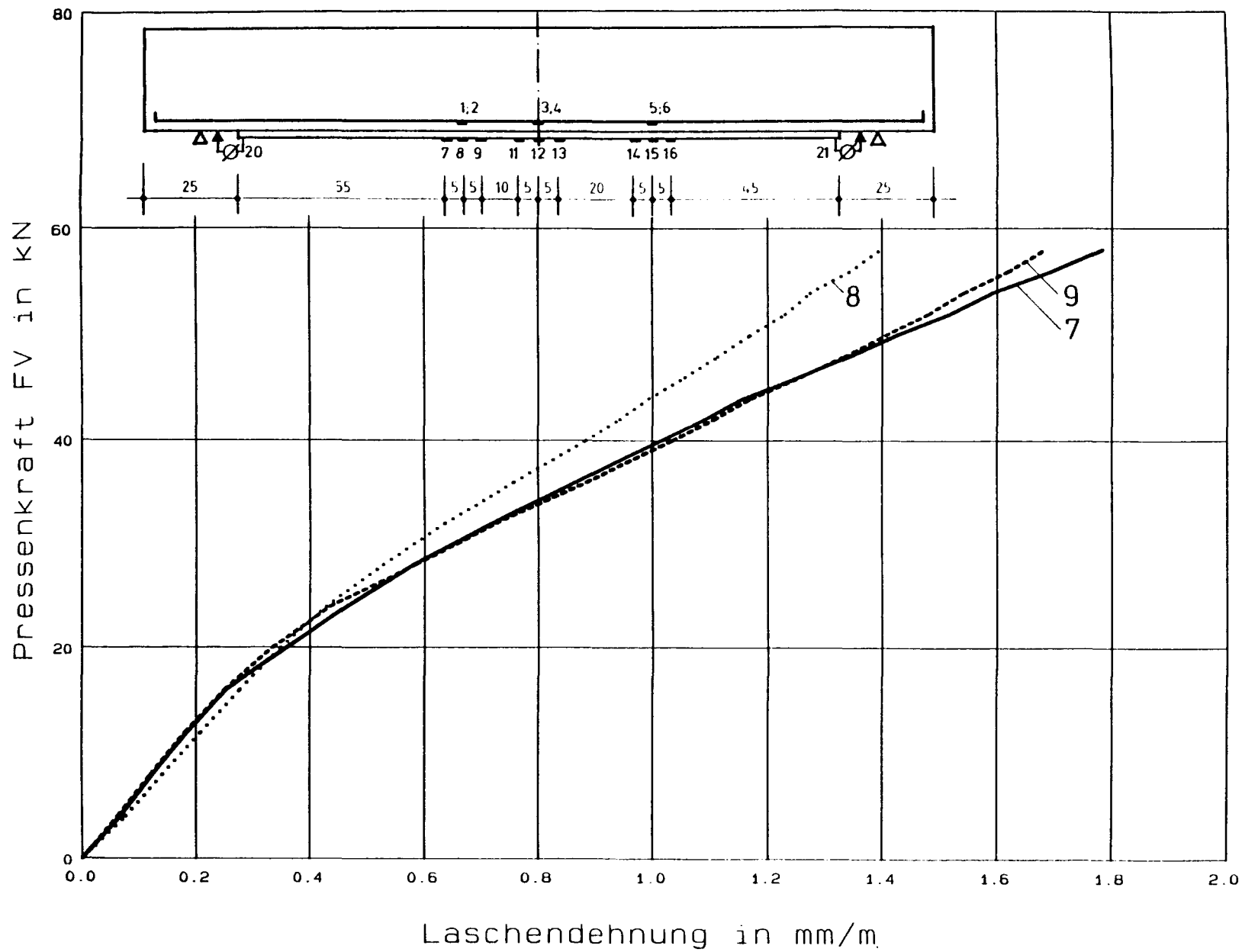
Versuch STAT2: Pressenkraft - Durchbiegung

**Versuch STAT2: Pressenkraft - Stahldehnung**

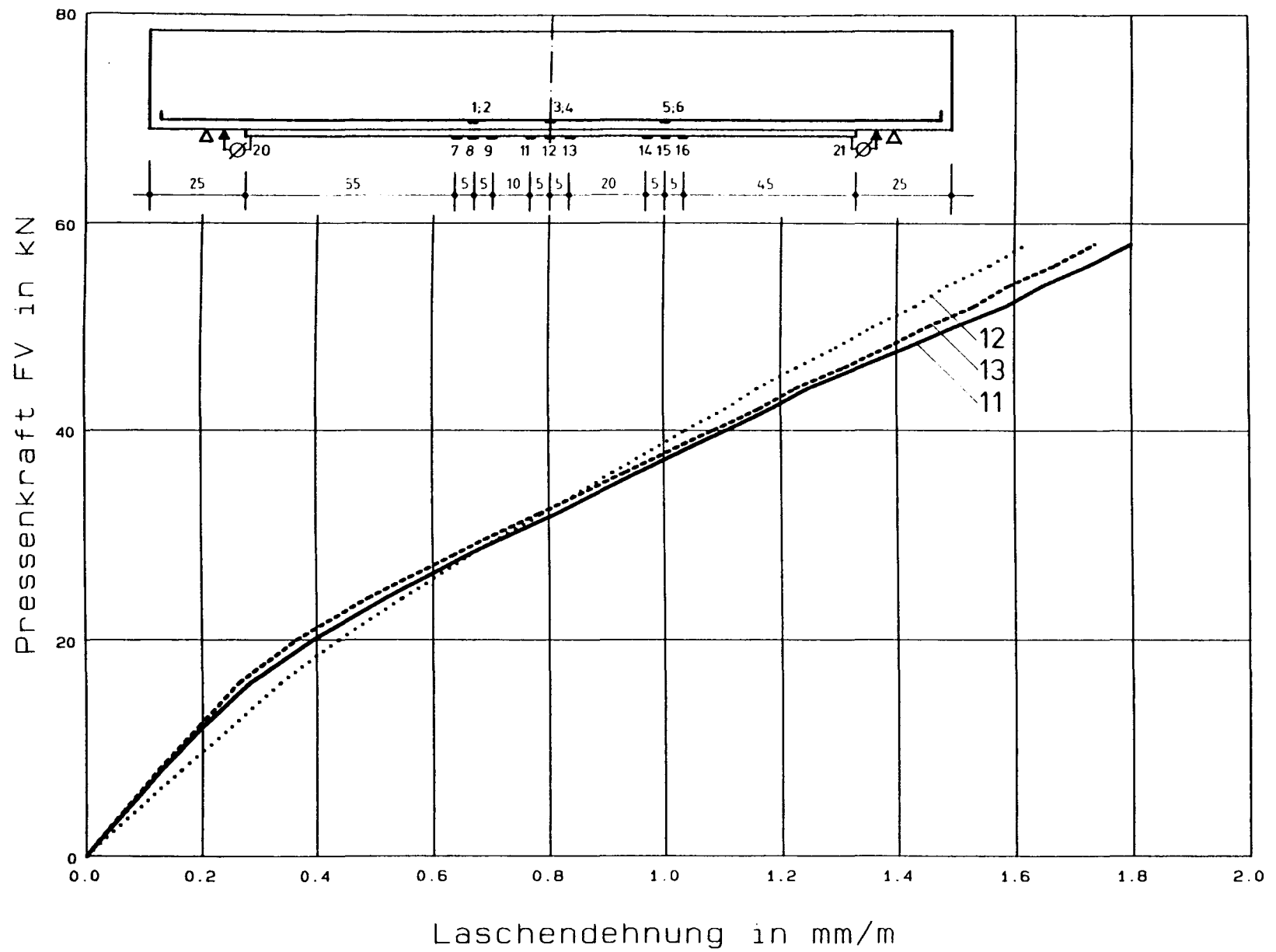


Versuch STAT2: Pressenkraft - Stahldehnung

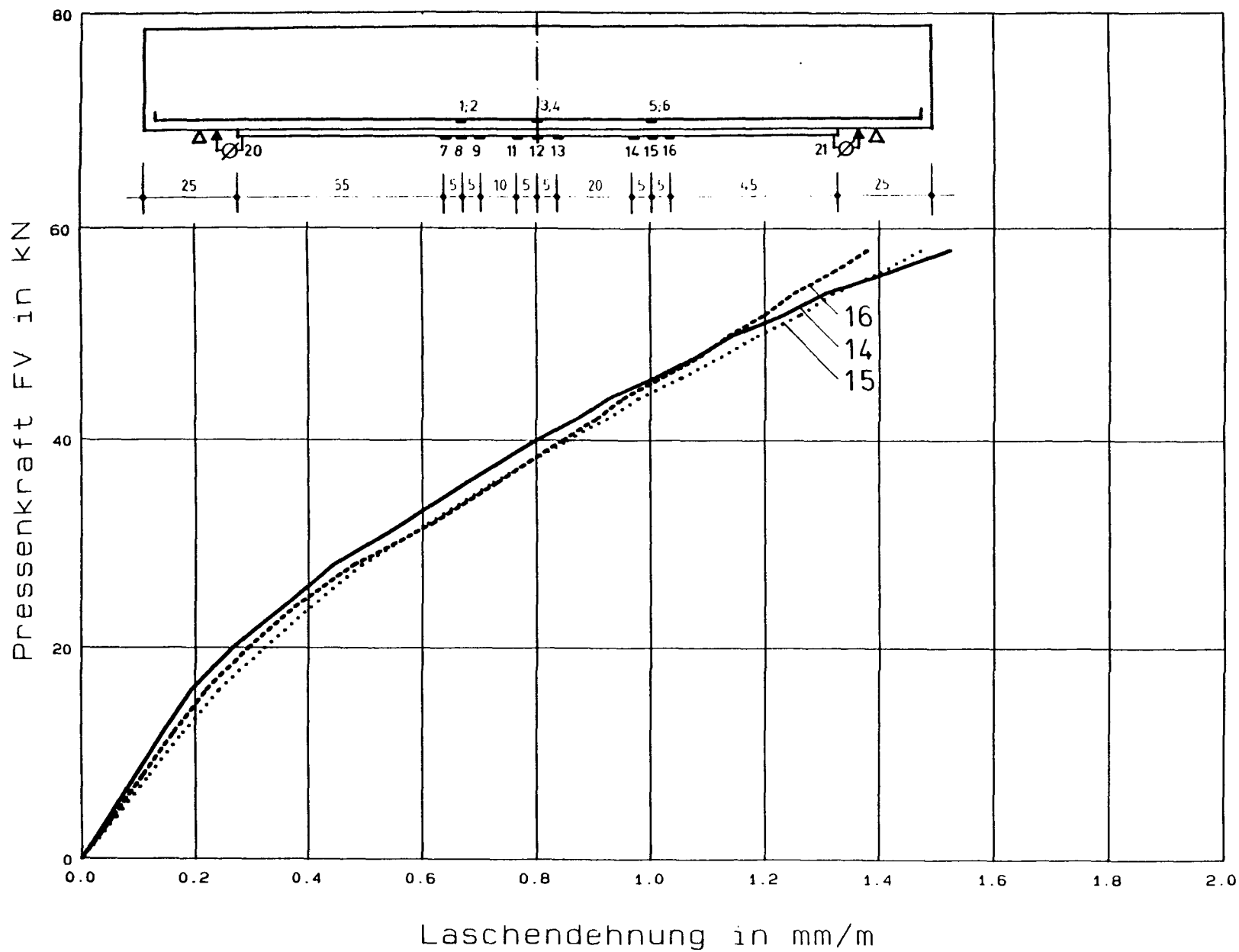
**Versuch STAT2: Pressenkraft - Stahldehnung**



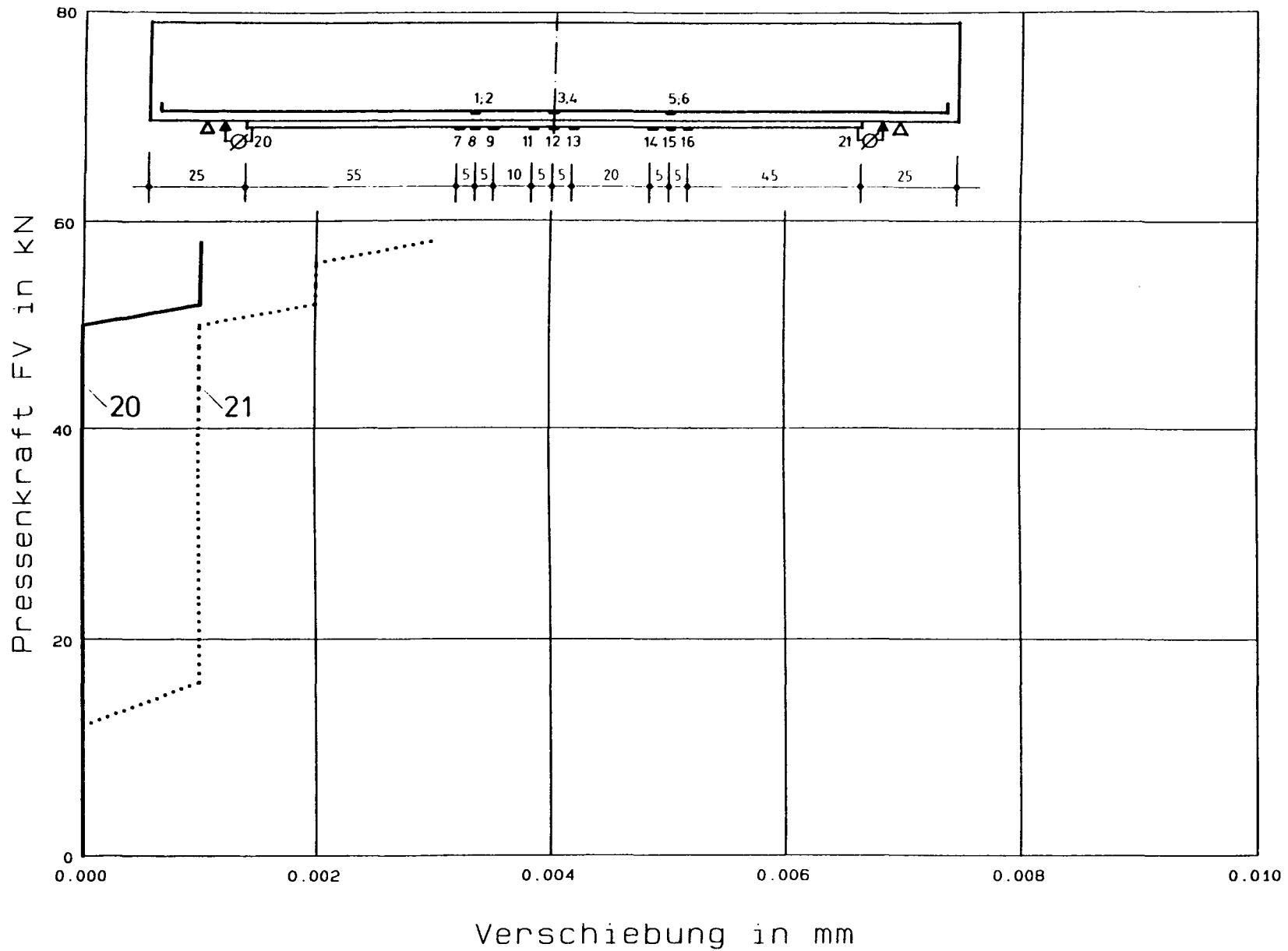
Versuch STAT2: Pressenkraft - Laschendechnik

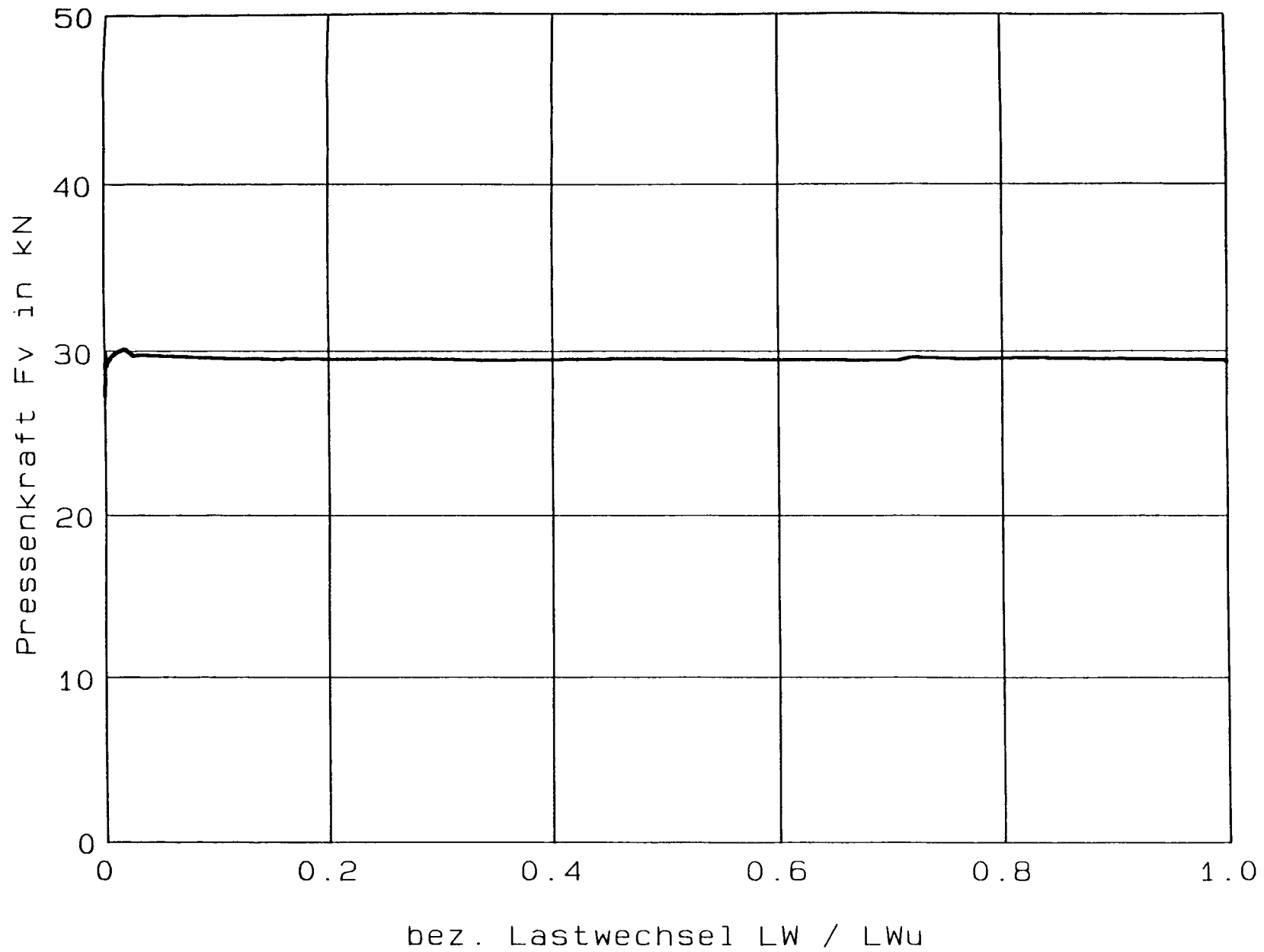


Versuch STAT2: Pressenkraft - Laschendechnik

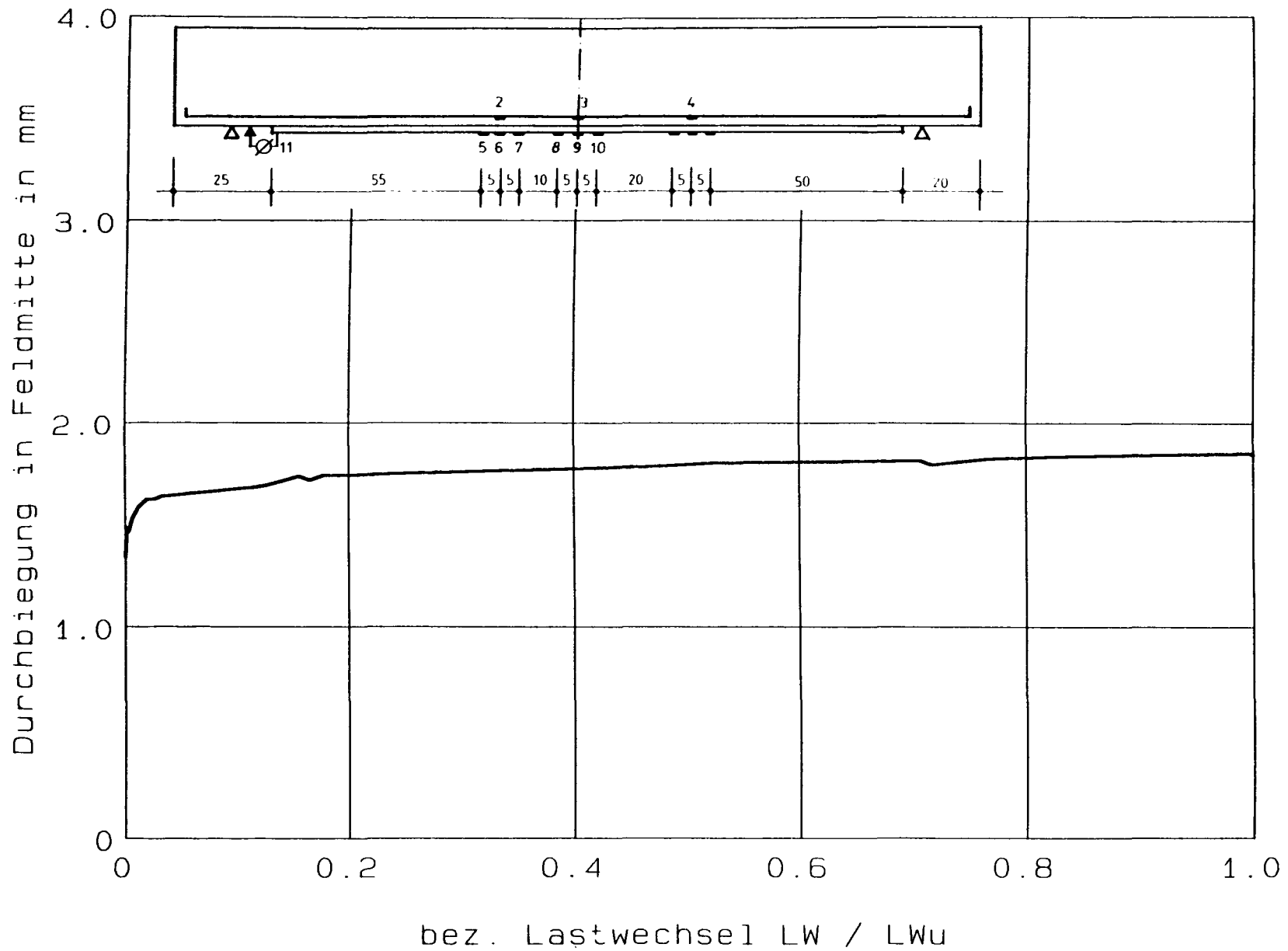


Versuch STAT2: Pressenkraft - Laschendechnik

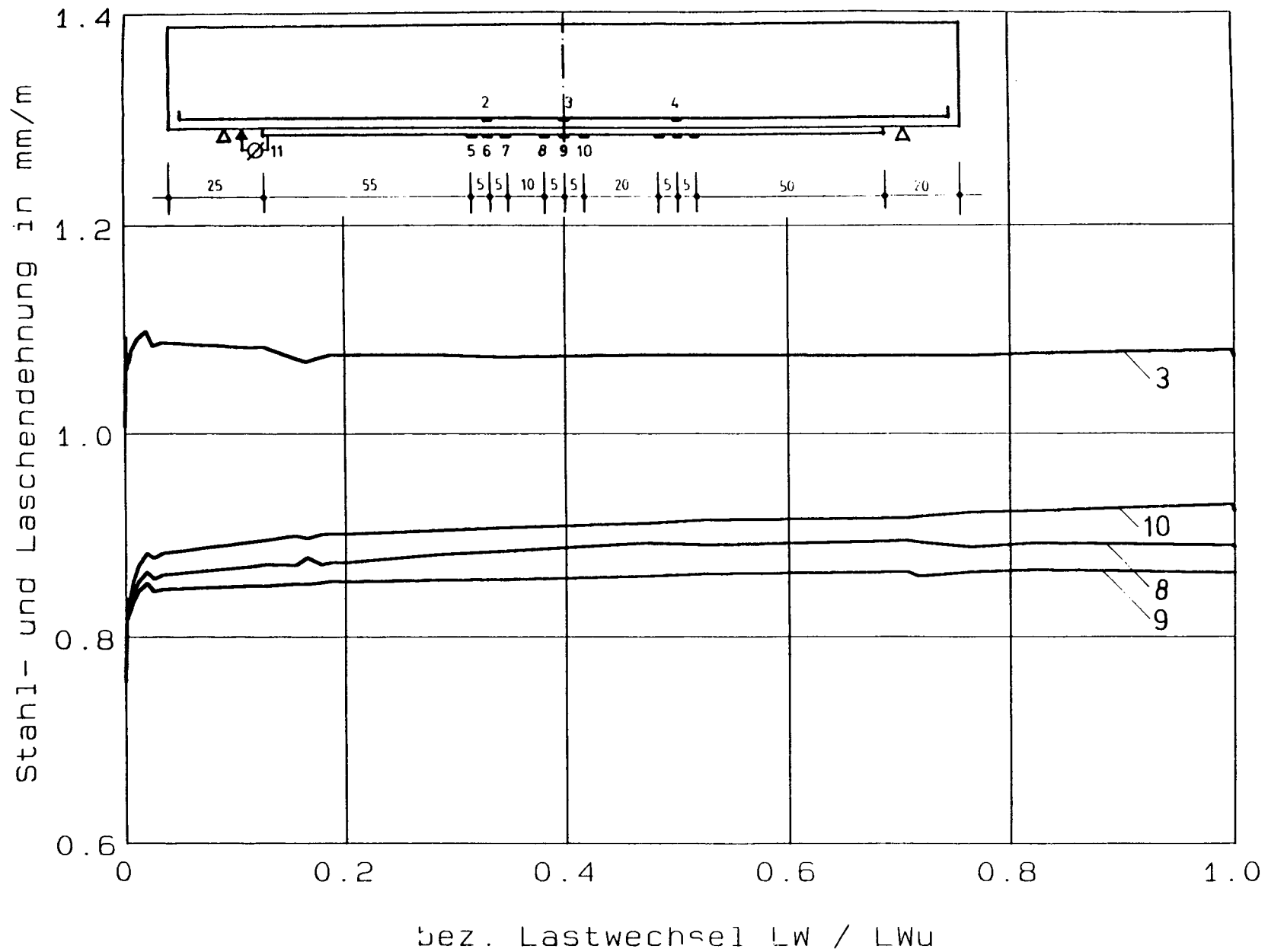
**Versuch STAT2: Pressenkraft - Abheben des Laschenendes**



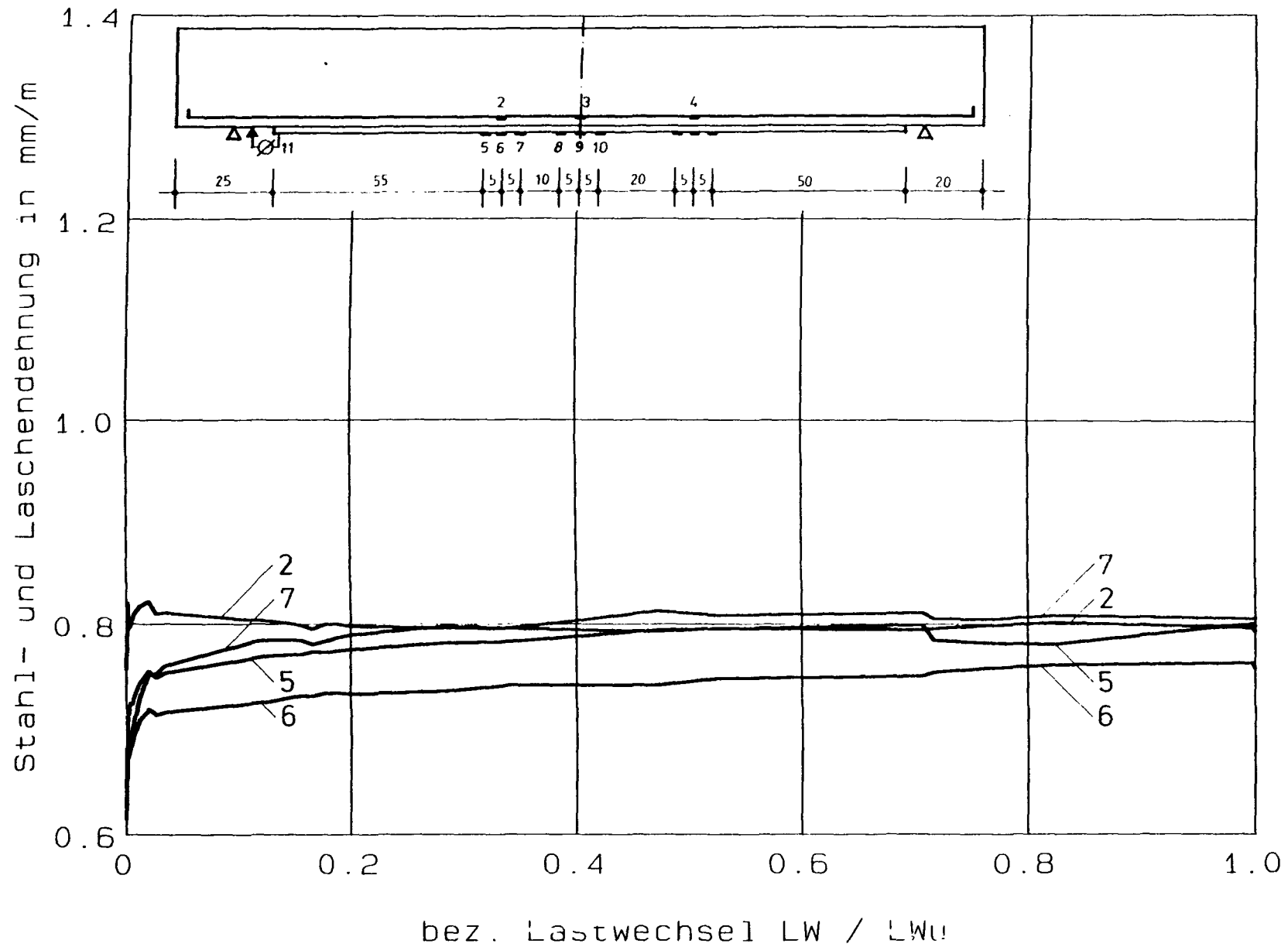
Versuch DYN3: Pressenkraft - Lastwechsel



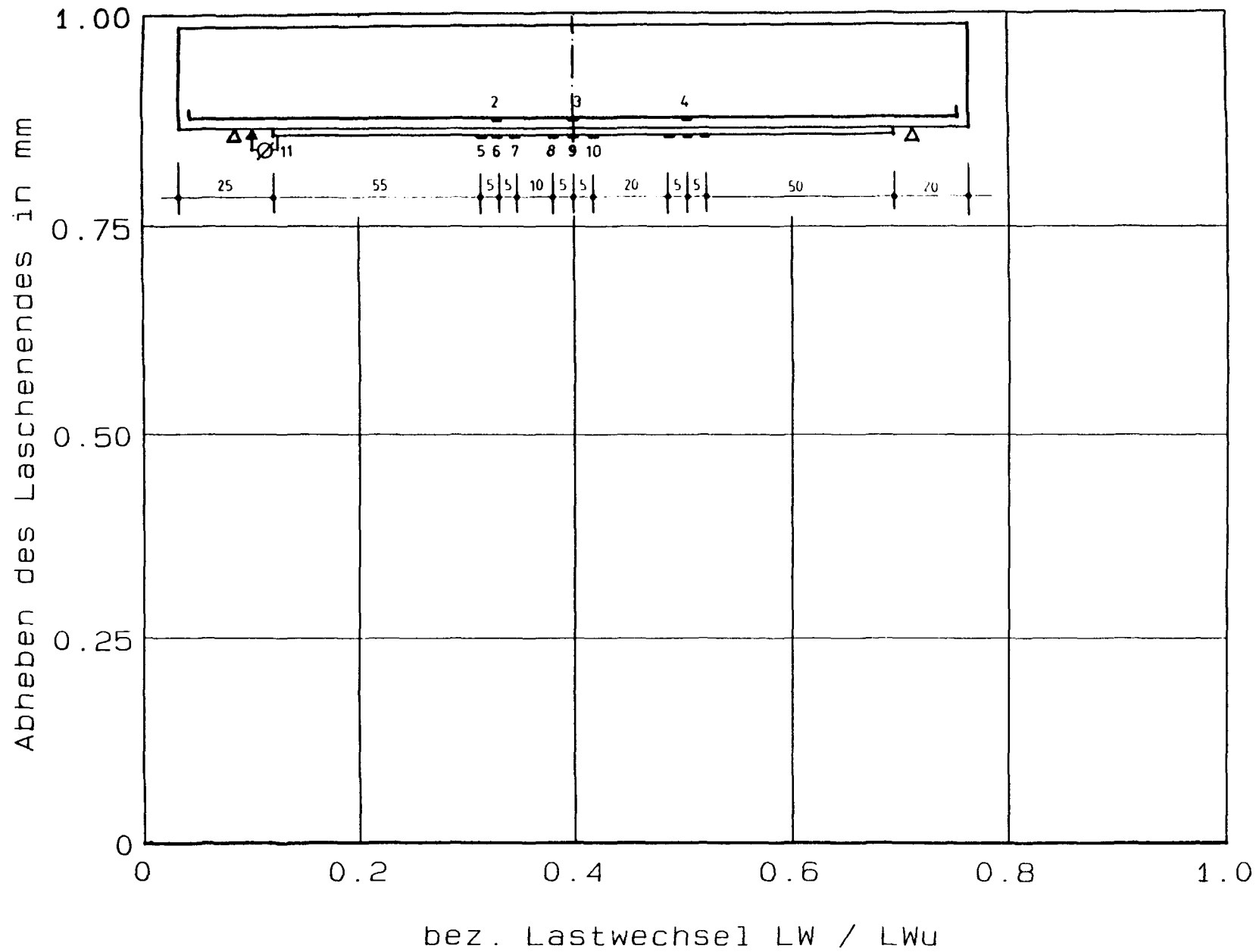
Versuch DYN3: Durchbiegung - Lastwechsel



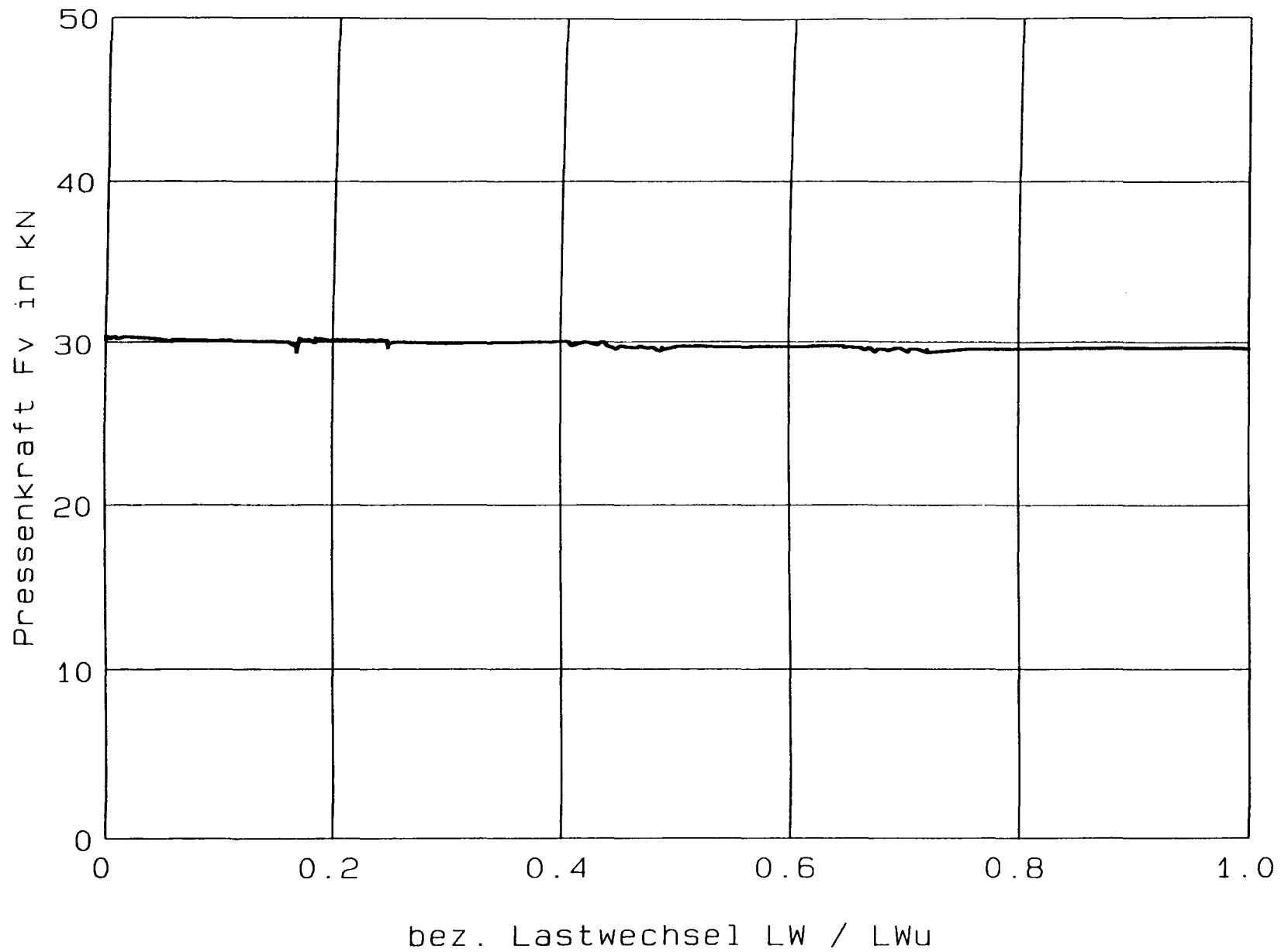
Versuch DYN3: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

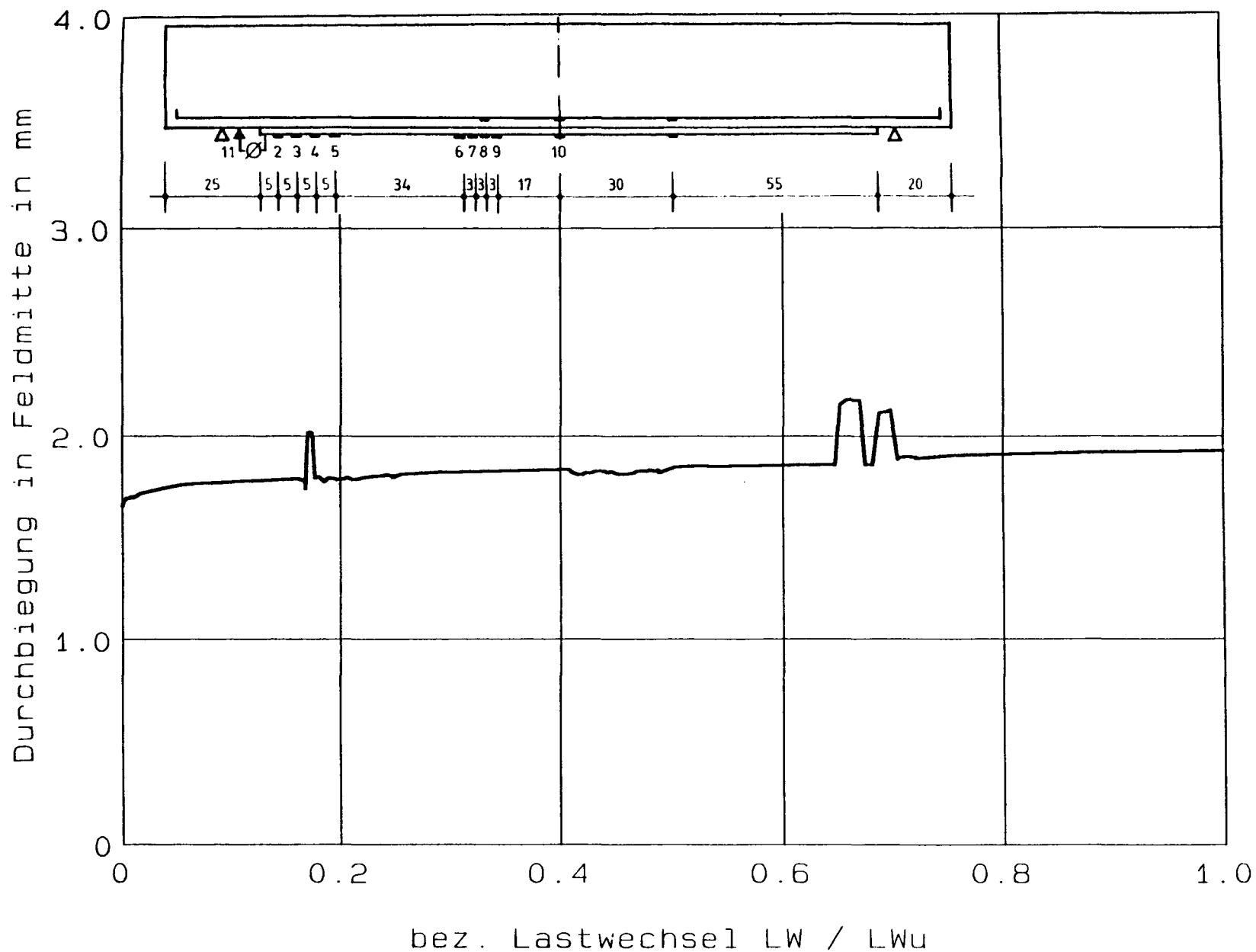


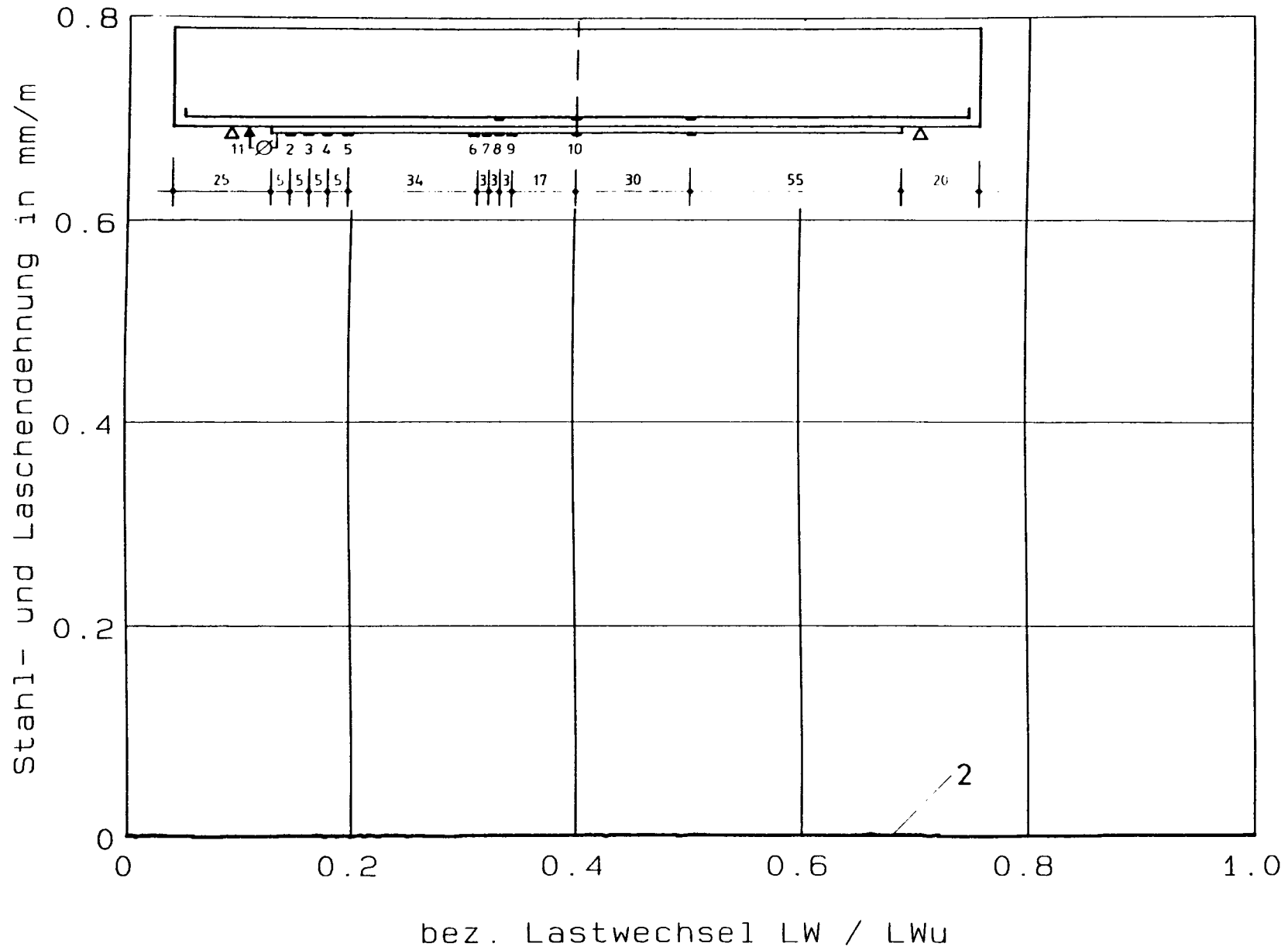
Versuch DYN3: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel



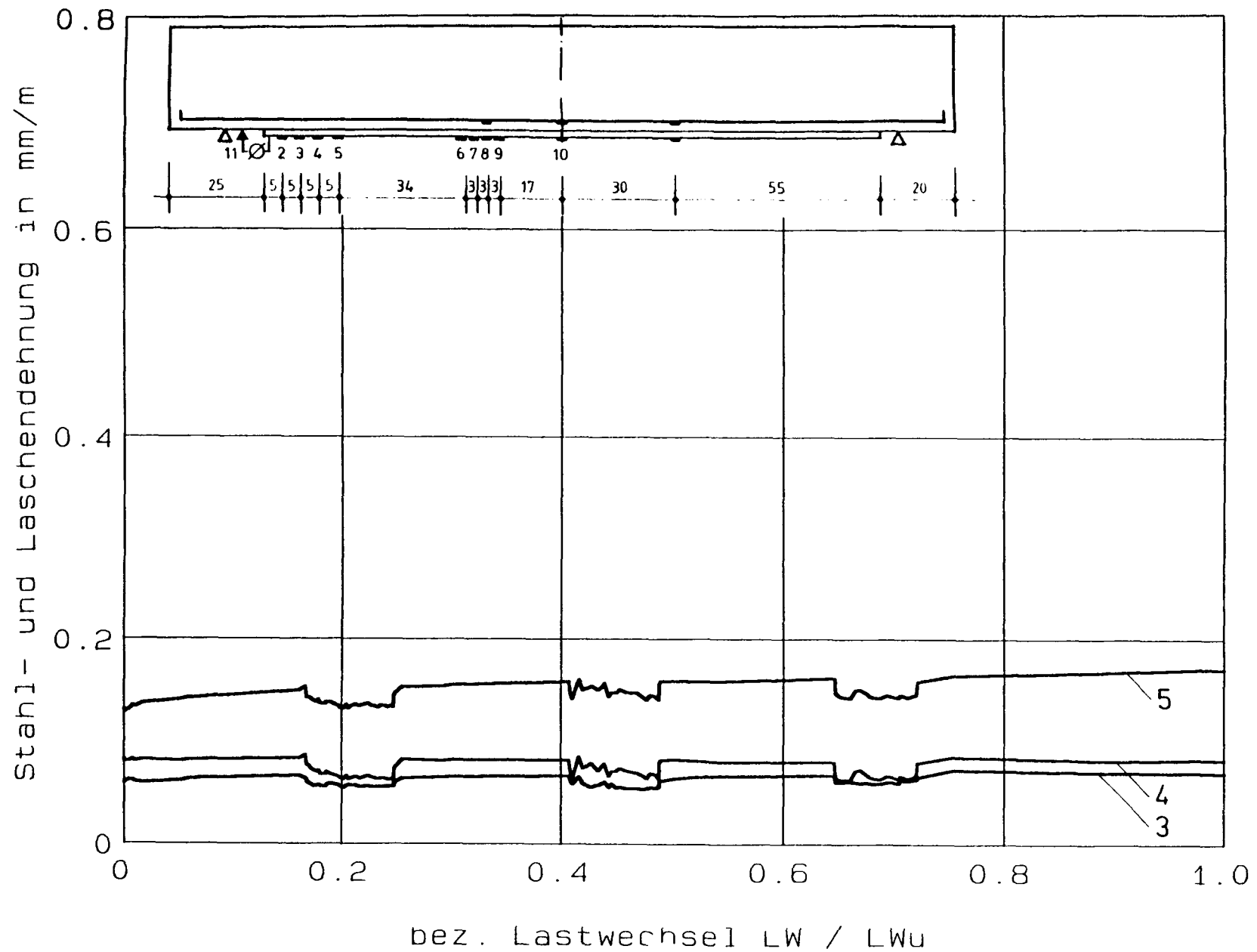
Versuch DYN3: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel

**Versuch DYN6: Pressenkraft - Lastwechsel**

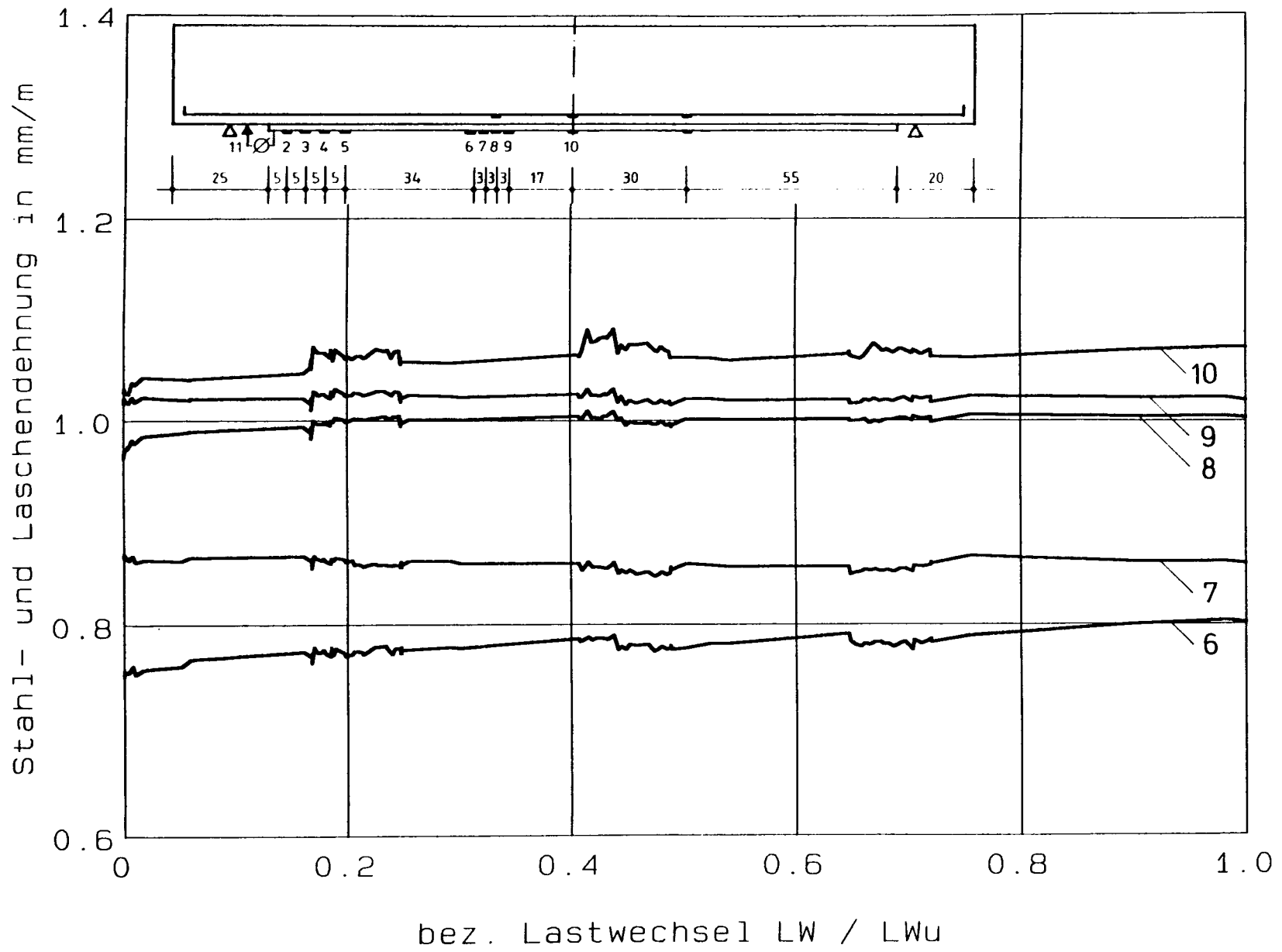
**Versuch DYN6: Durchbiegung - Lastwechsel**



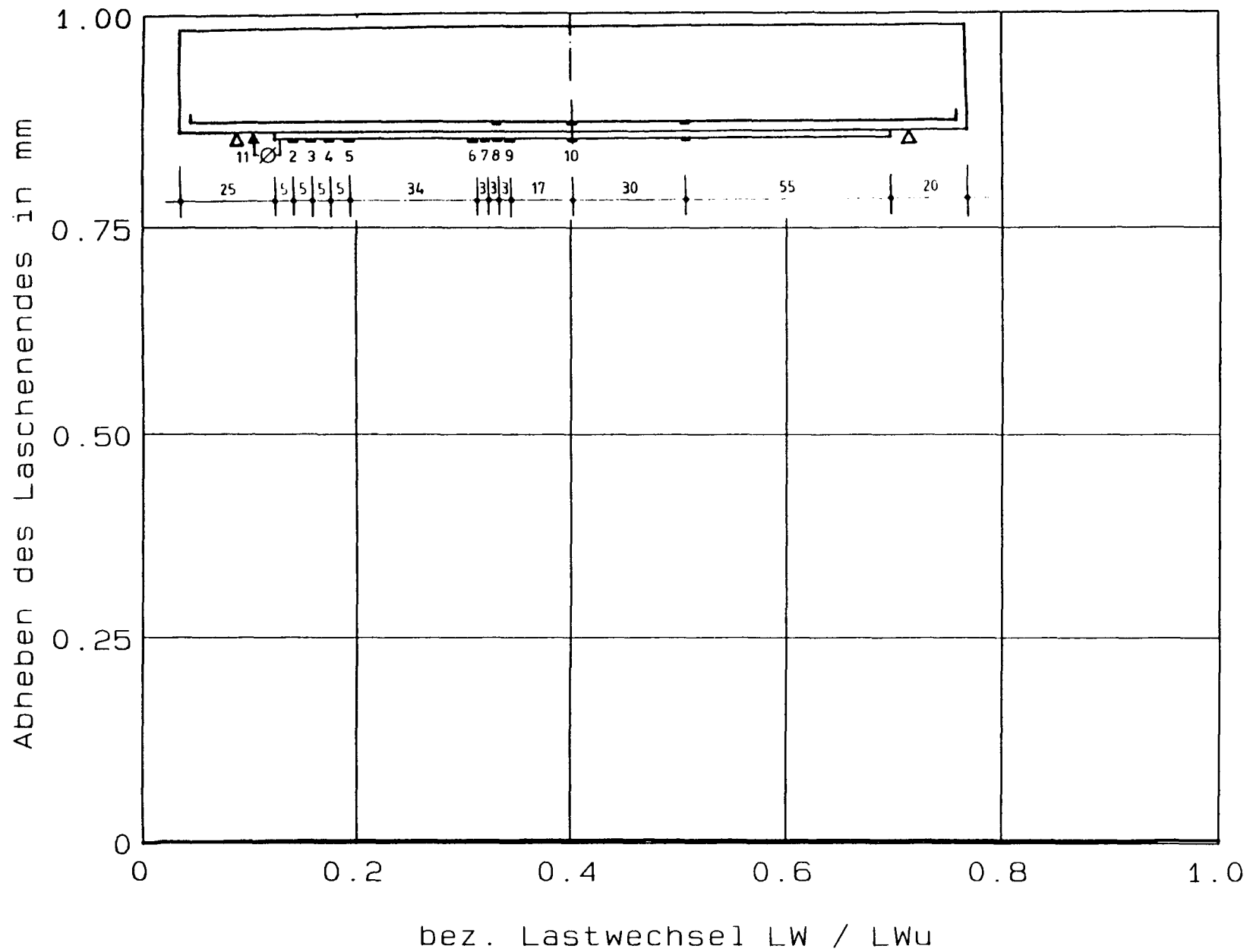
Versuch DYN6: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel



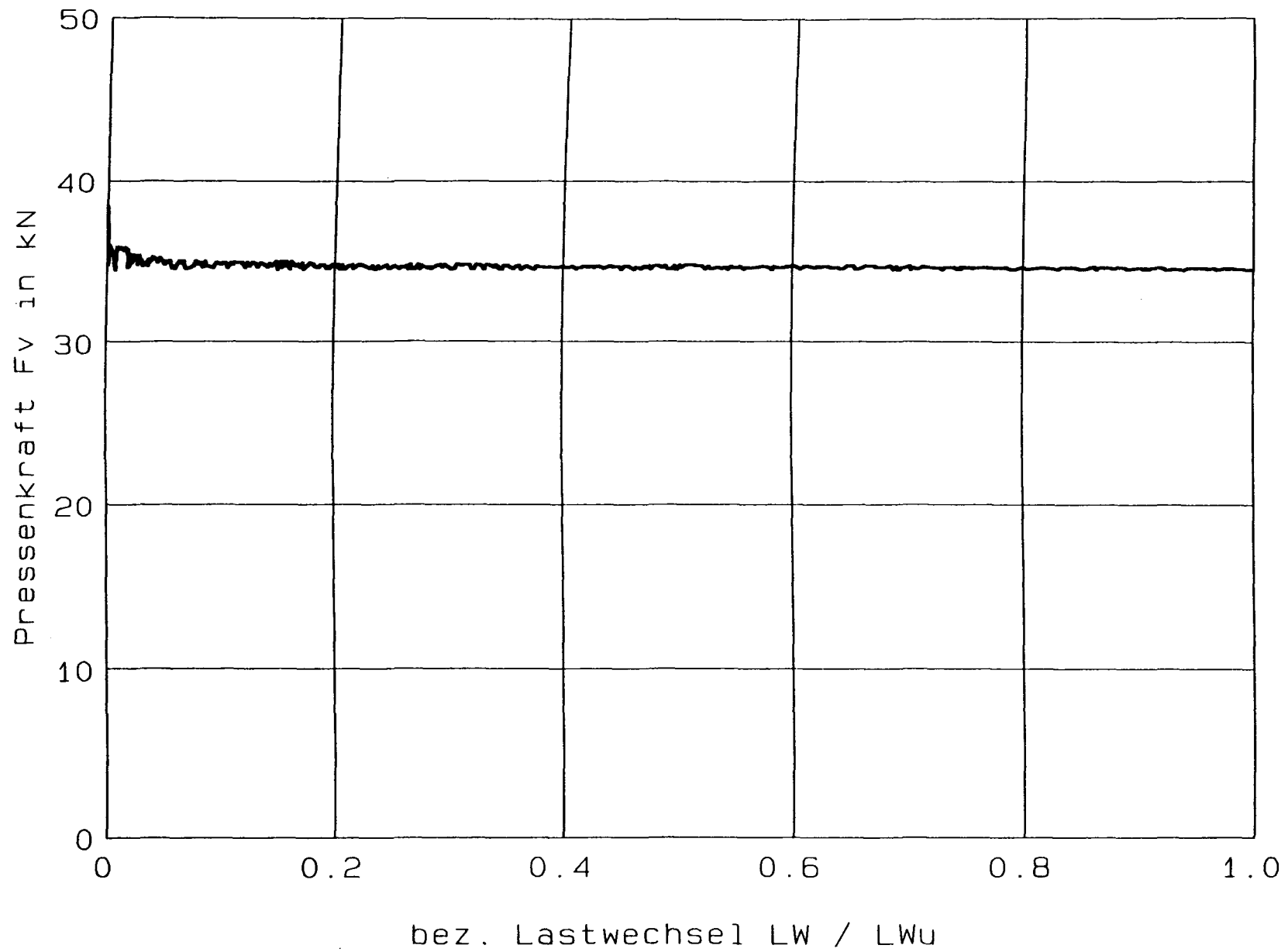
Versuch DYN6: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel



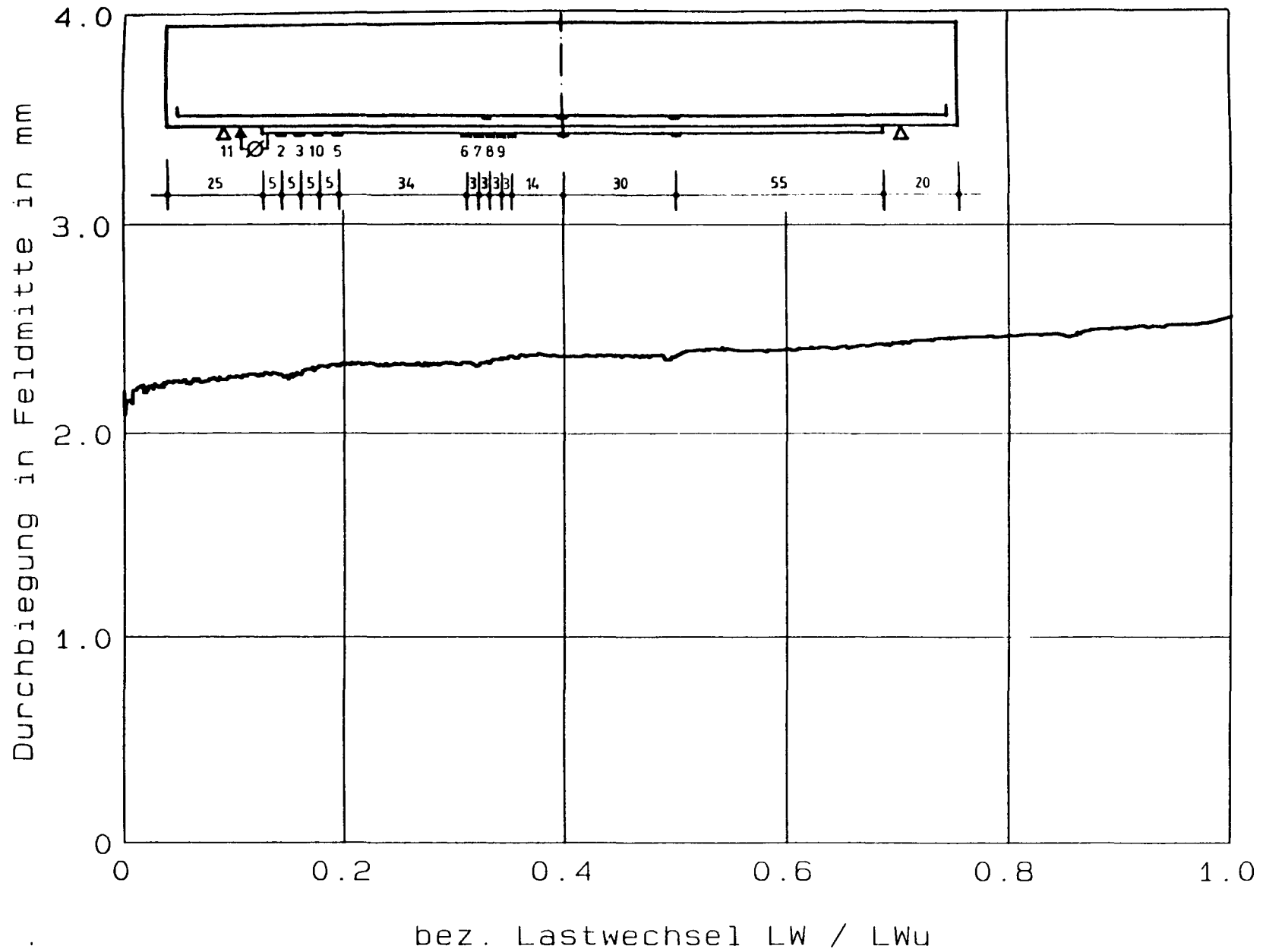
Versuch DYN6: Stahl- und Laschendeformation - Lastwechsel



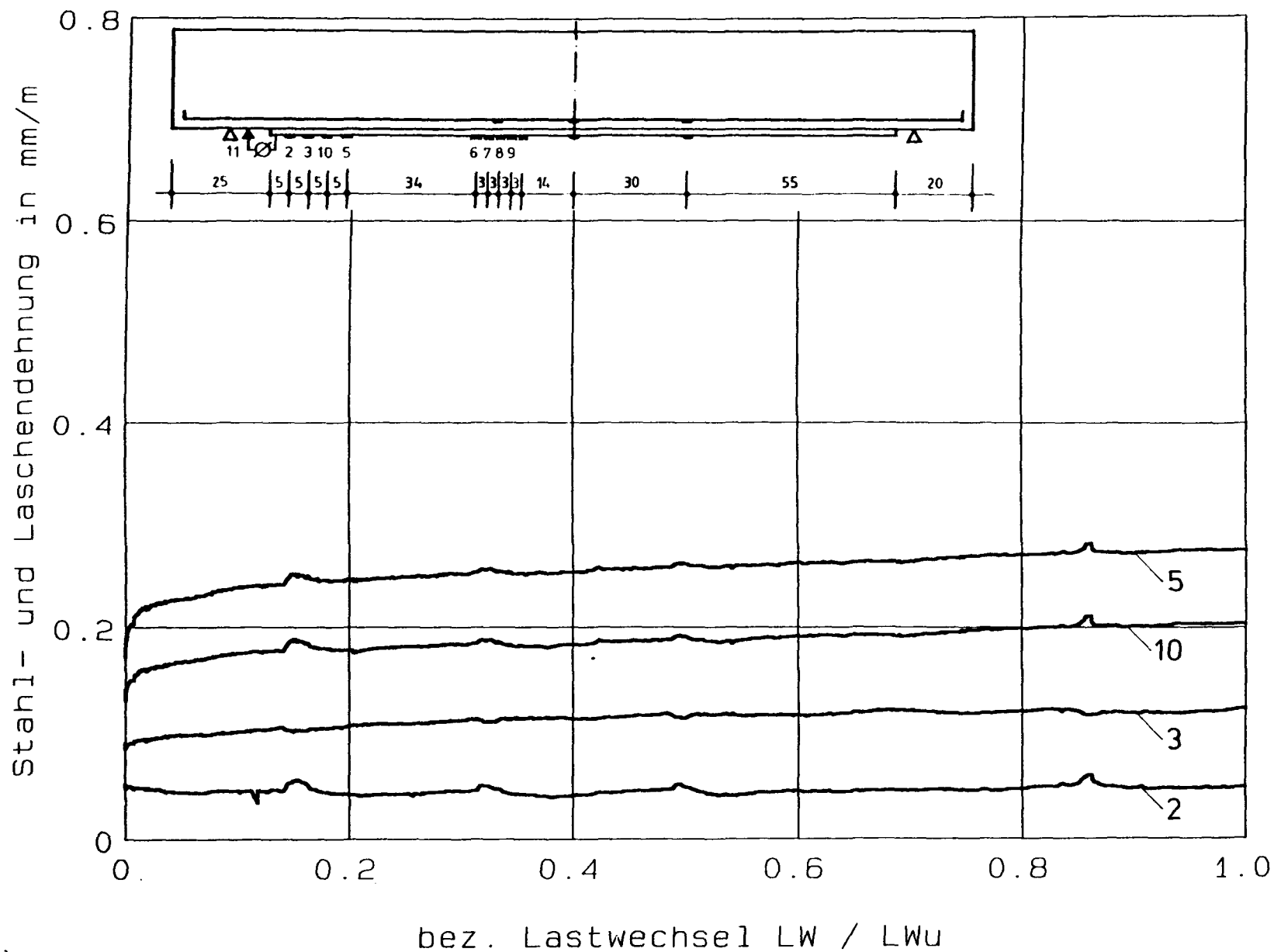
Versuch DYN6: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel



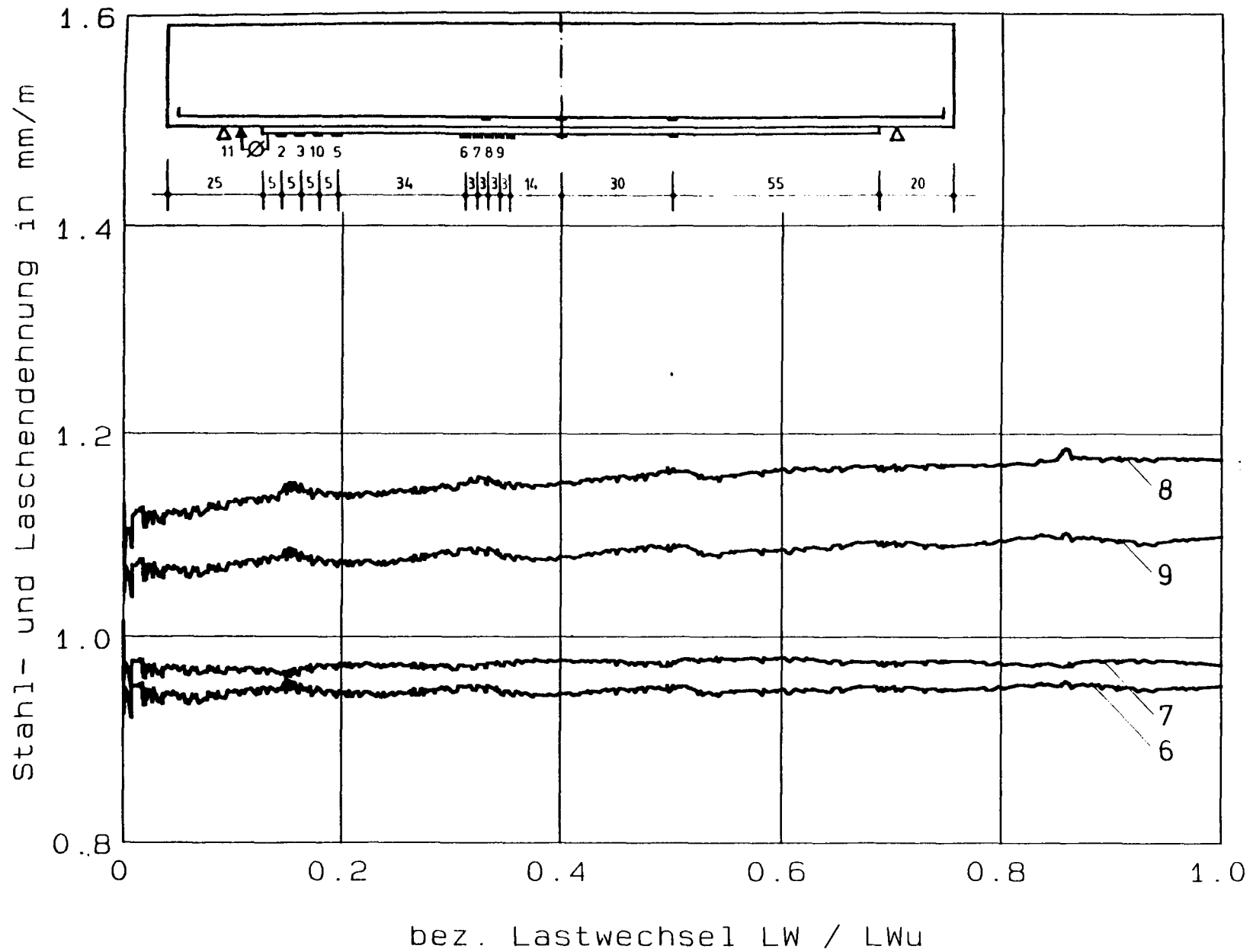
Versuch DYN7: Pressenkraft - Lastwechsel



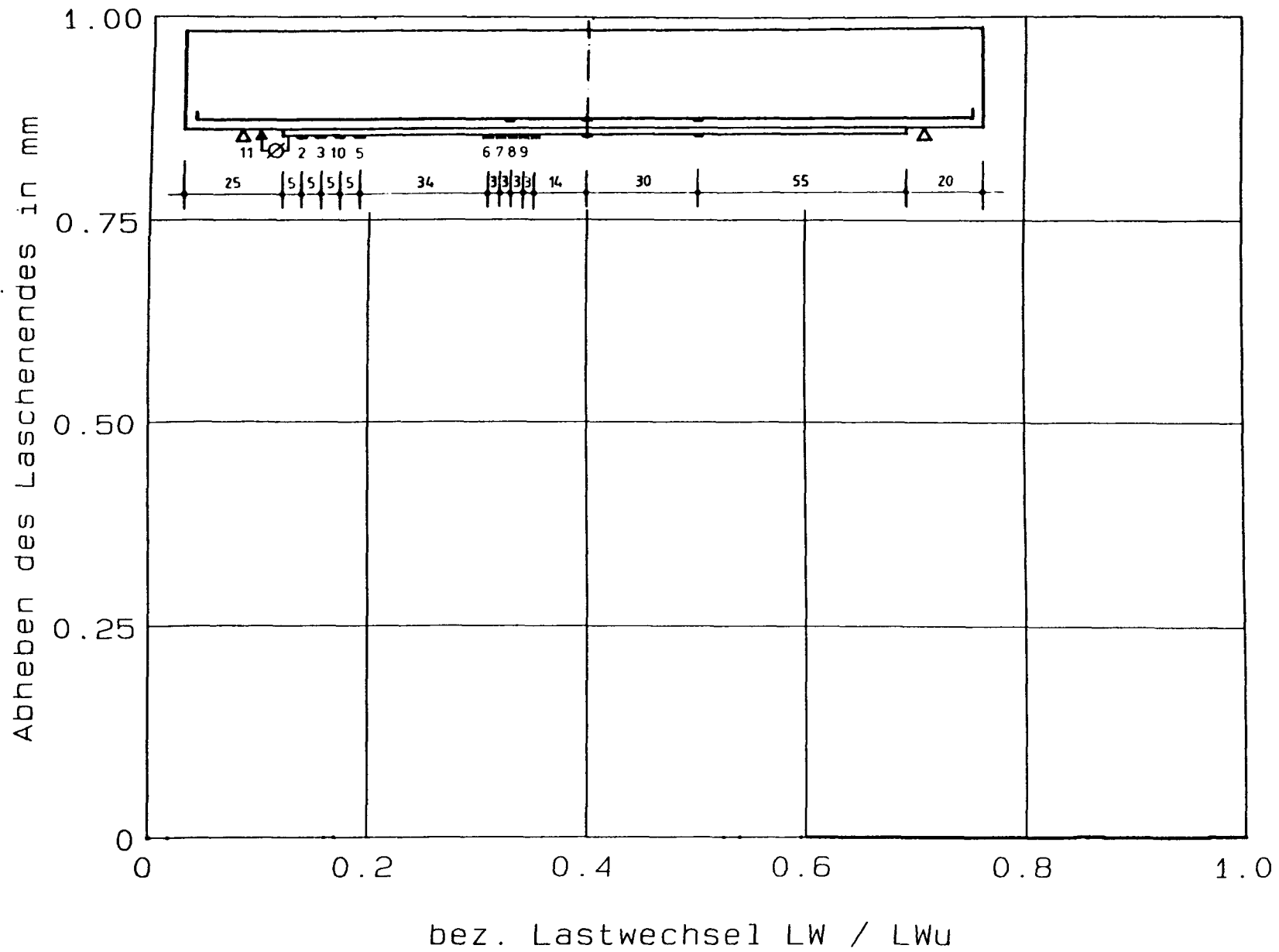
Versuch DYN7: Durchbiegung - Lastwechsel

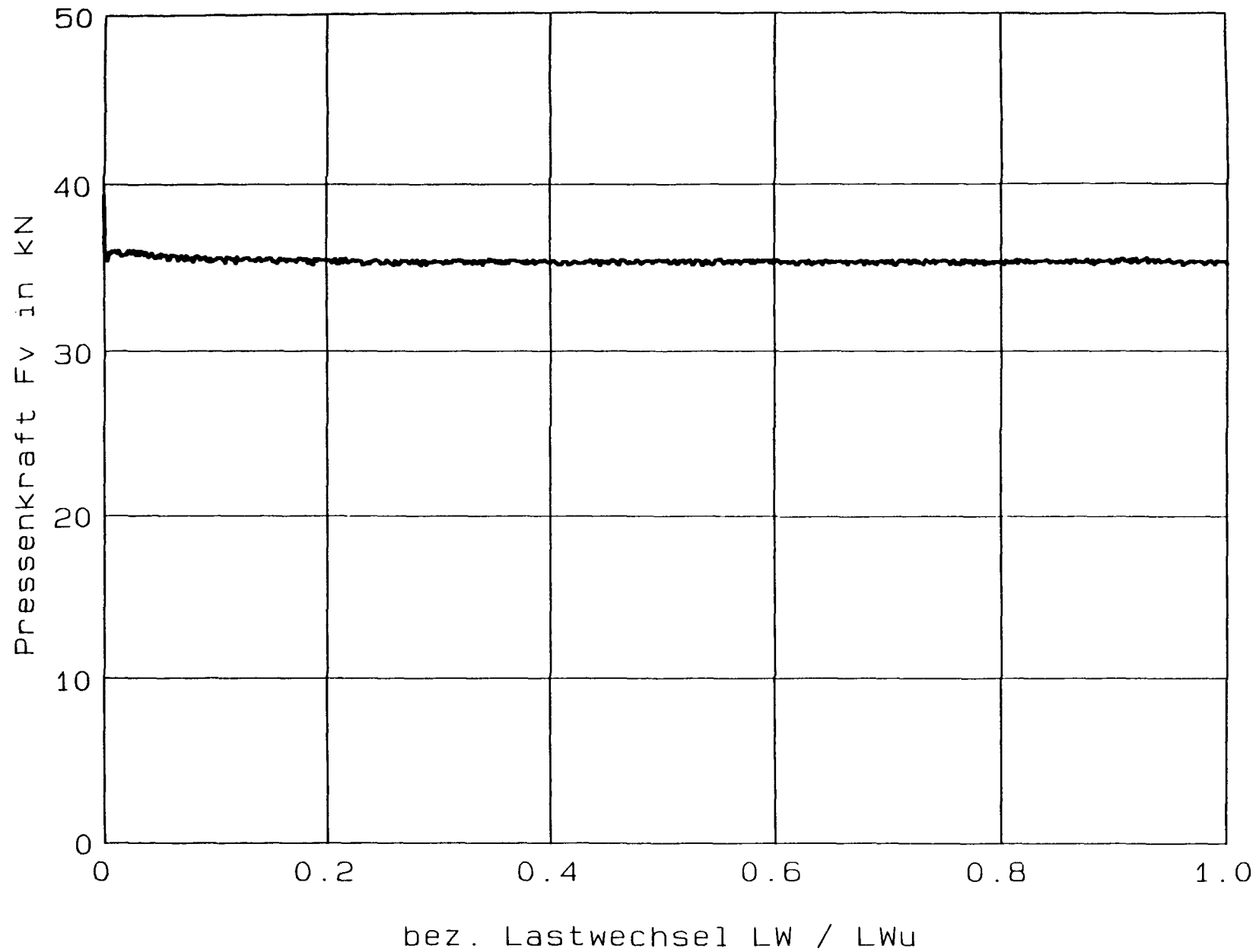


Versuch DYN7: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

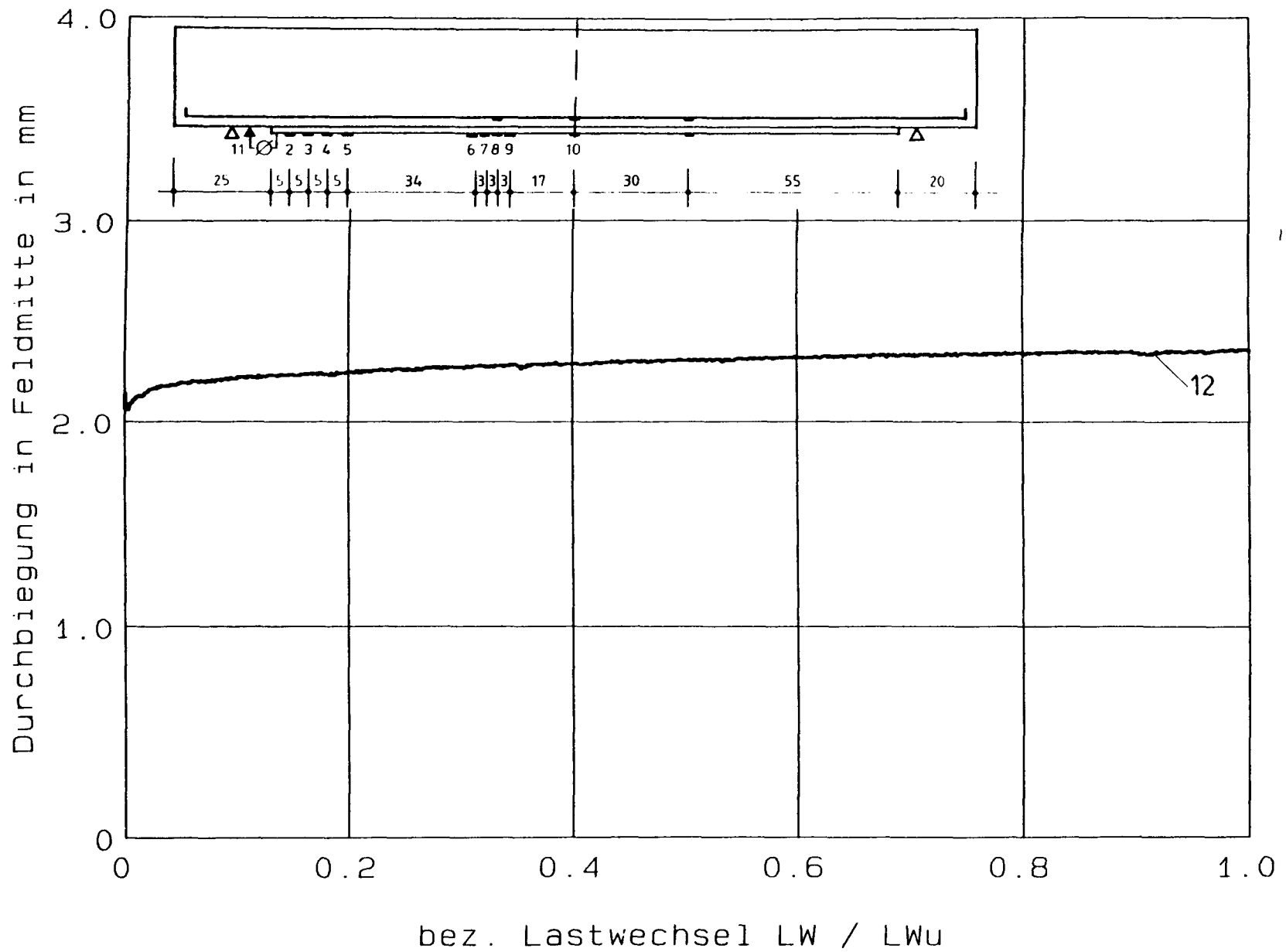


Versuch DYN7: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

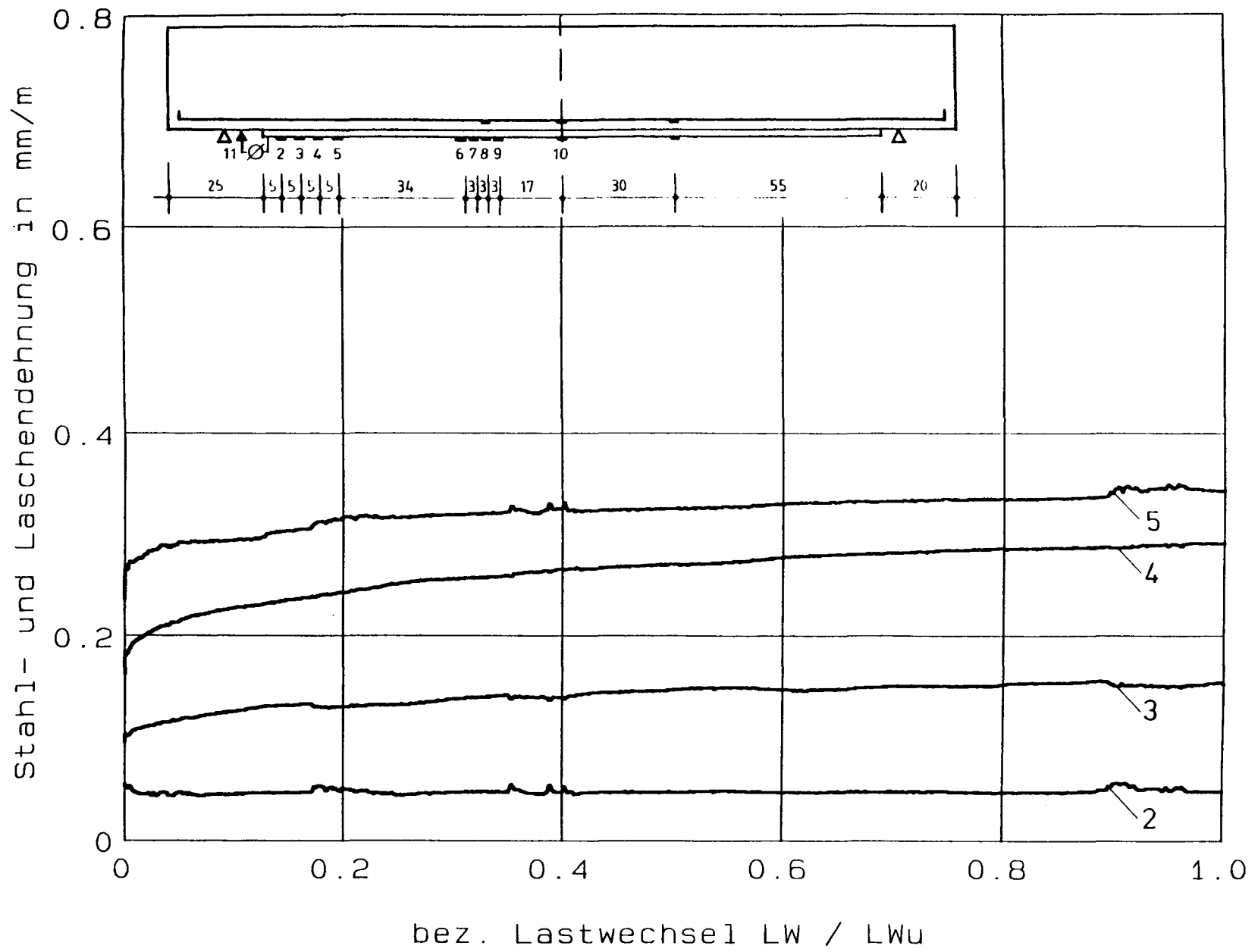
**Versuch DYN7: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel**



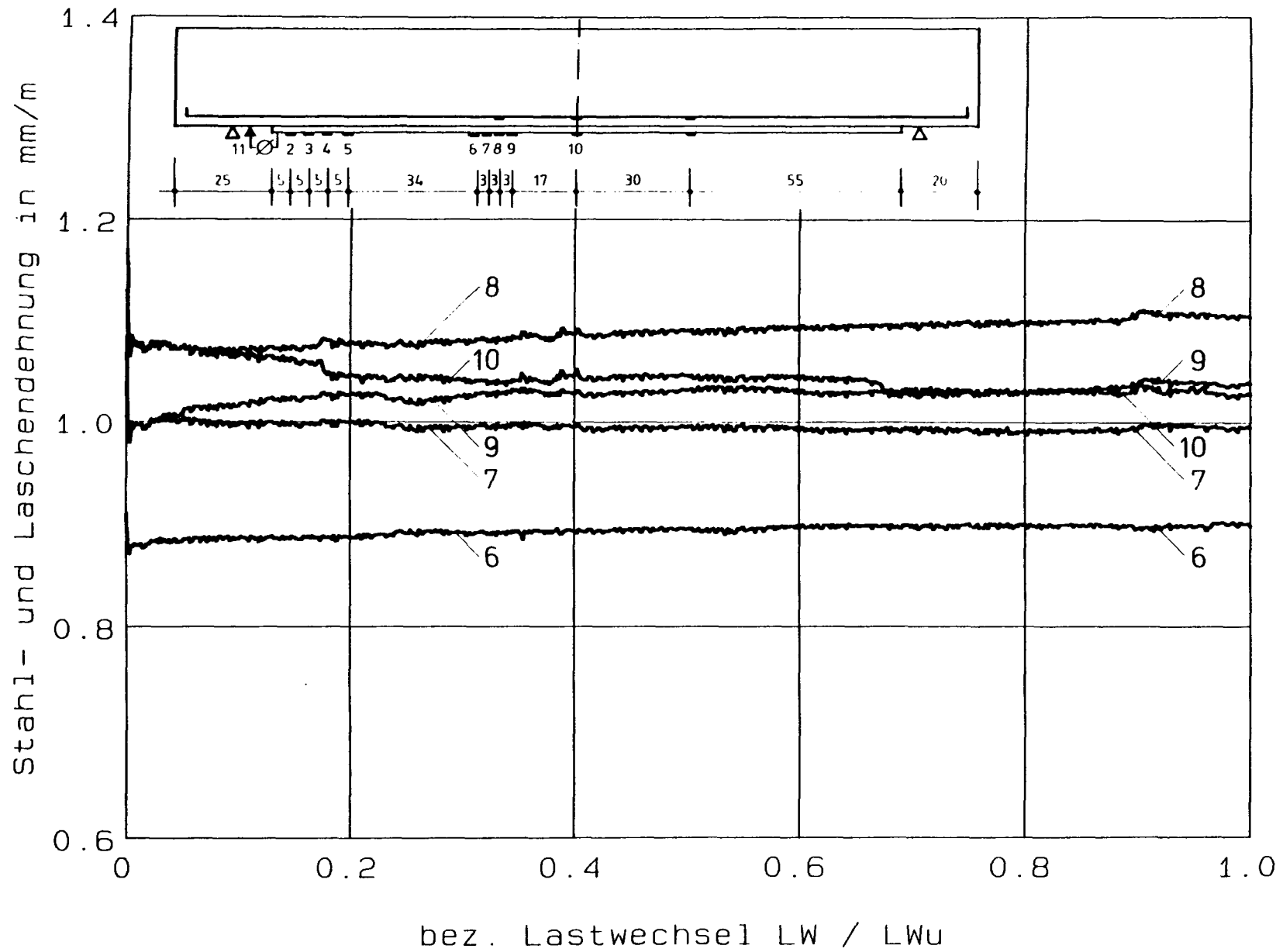
Versuch DYN8: Pressenkraft - Lastwechsel



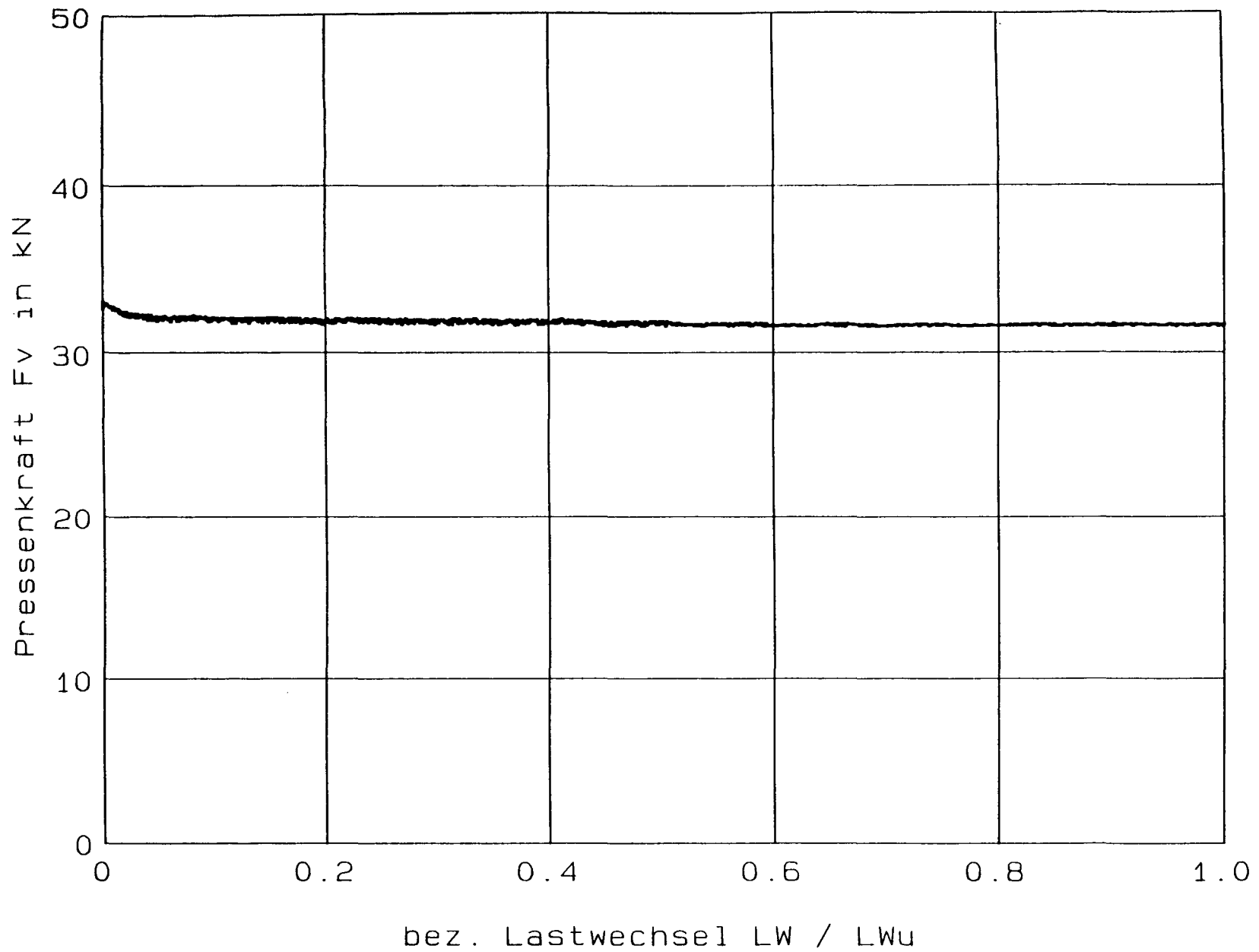
Versuch DYN8; Durchbiegung - Lastwechsel



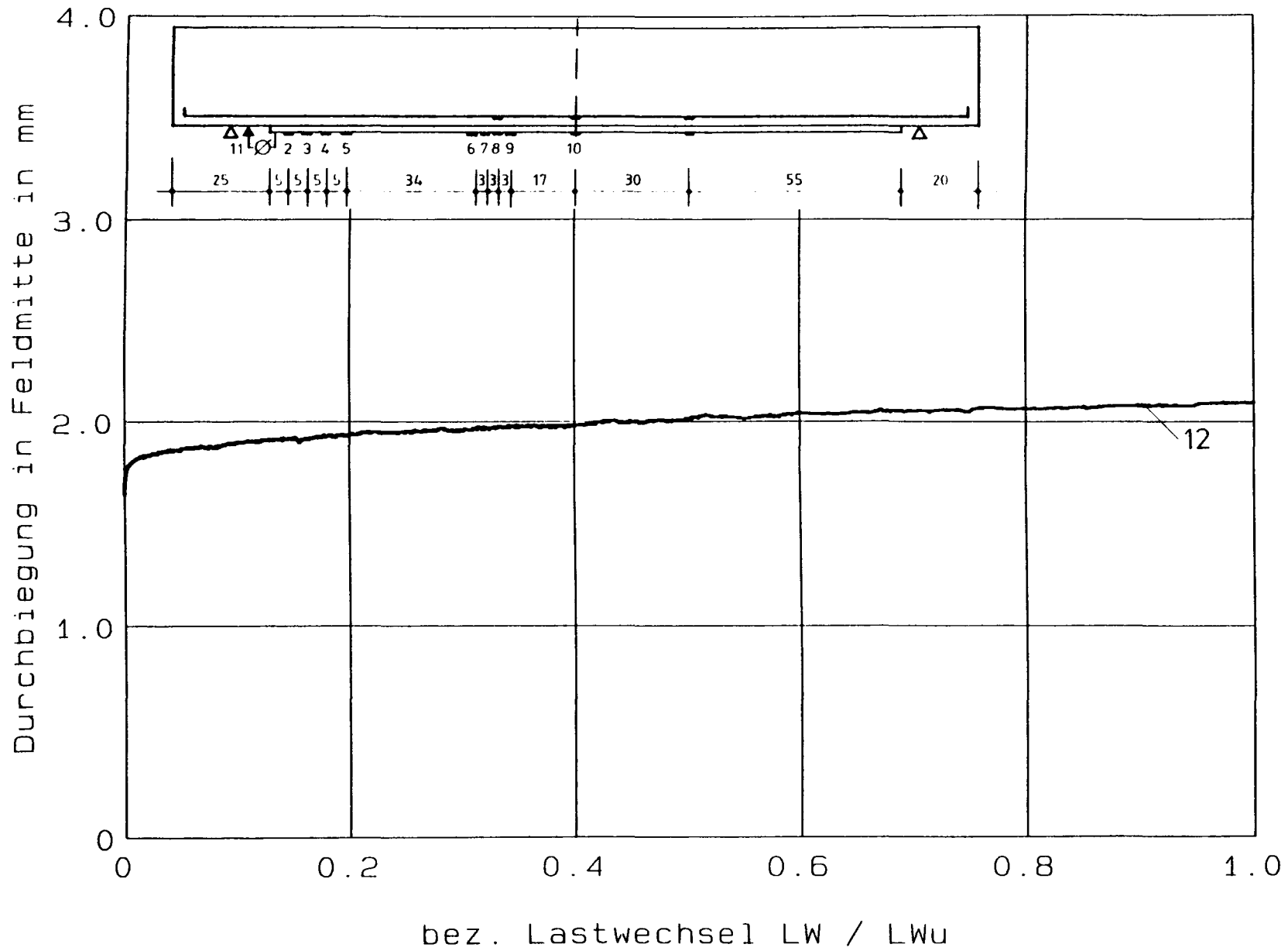
Versuch DYN8: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

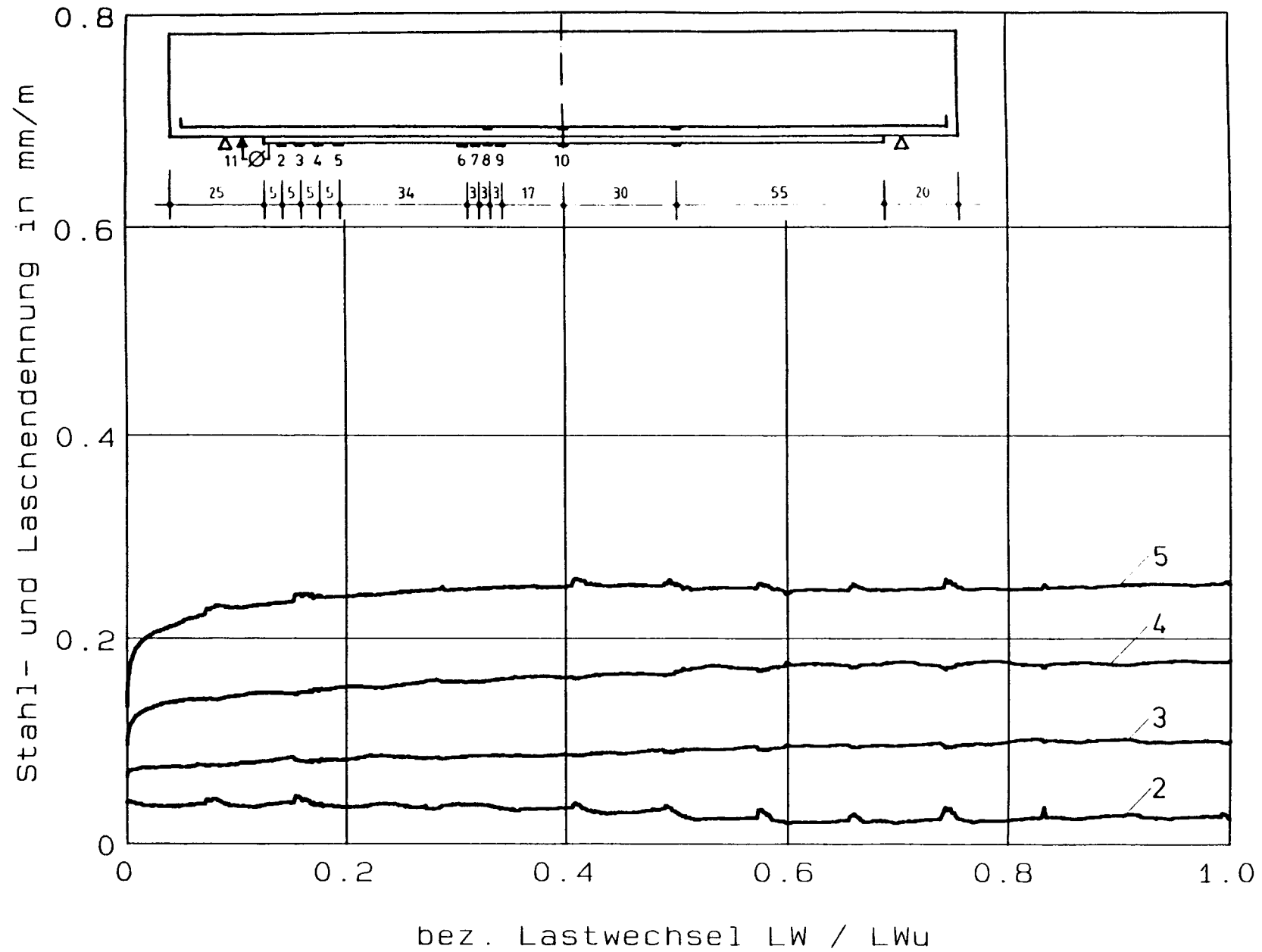


Versuch DYN8: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

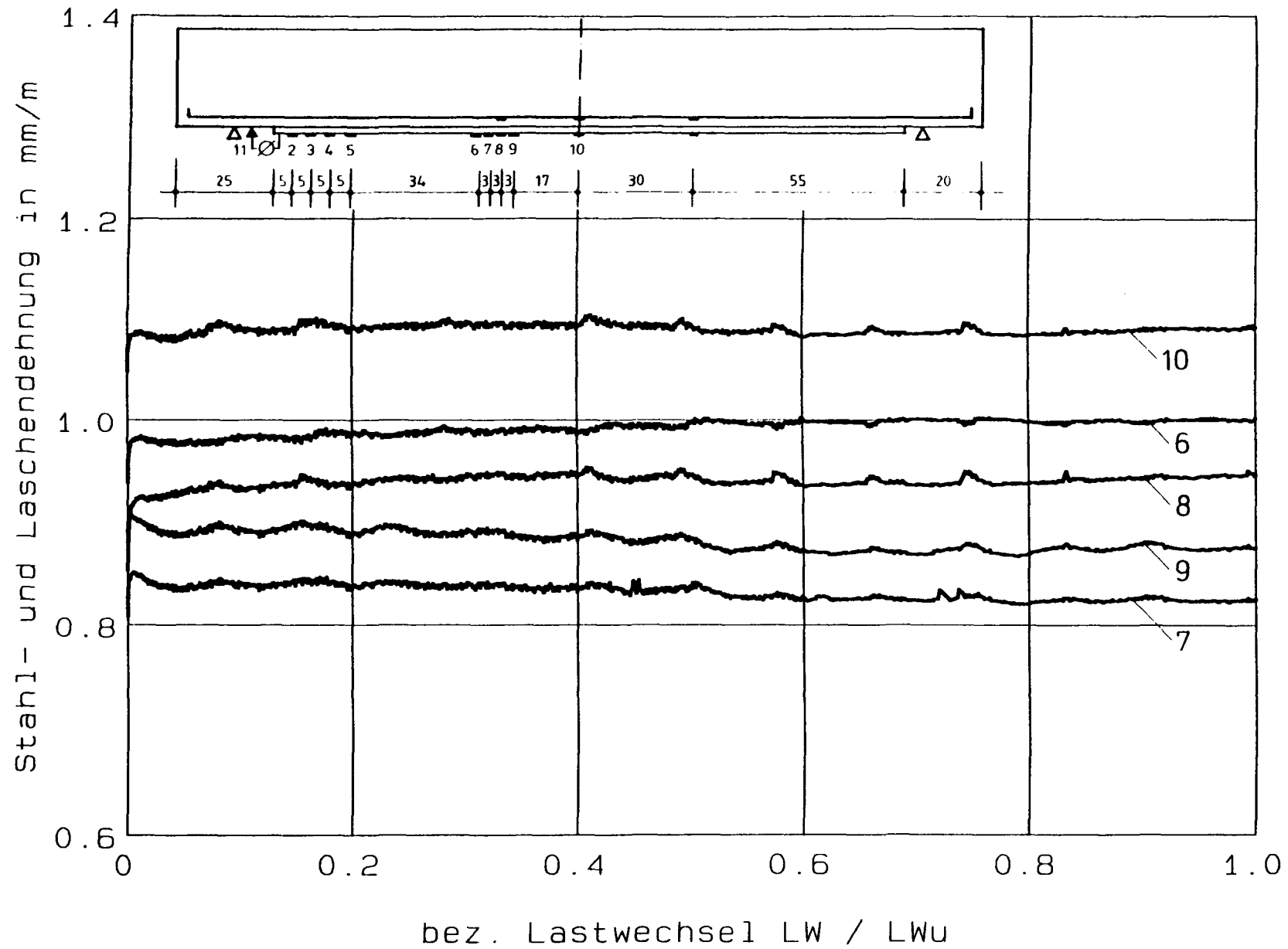


Versuch DYN9: Pressenkraft - Lastwechsel

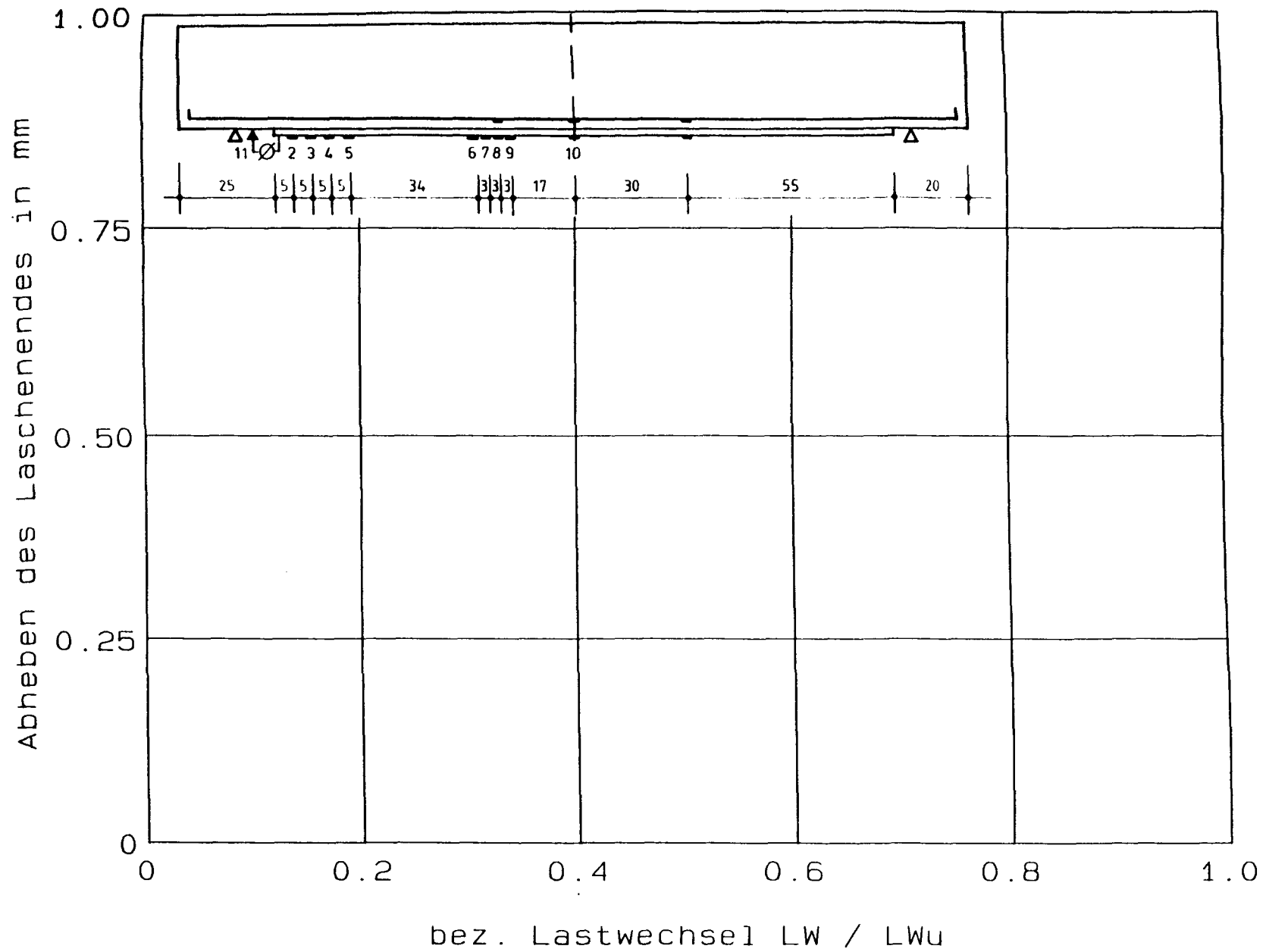
**Versuch DYN9: Durchbiegung - Lastwechsel**



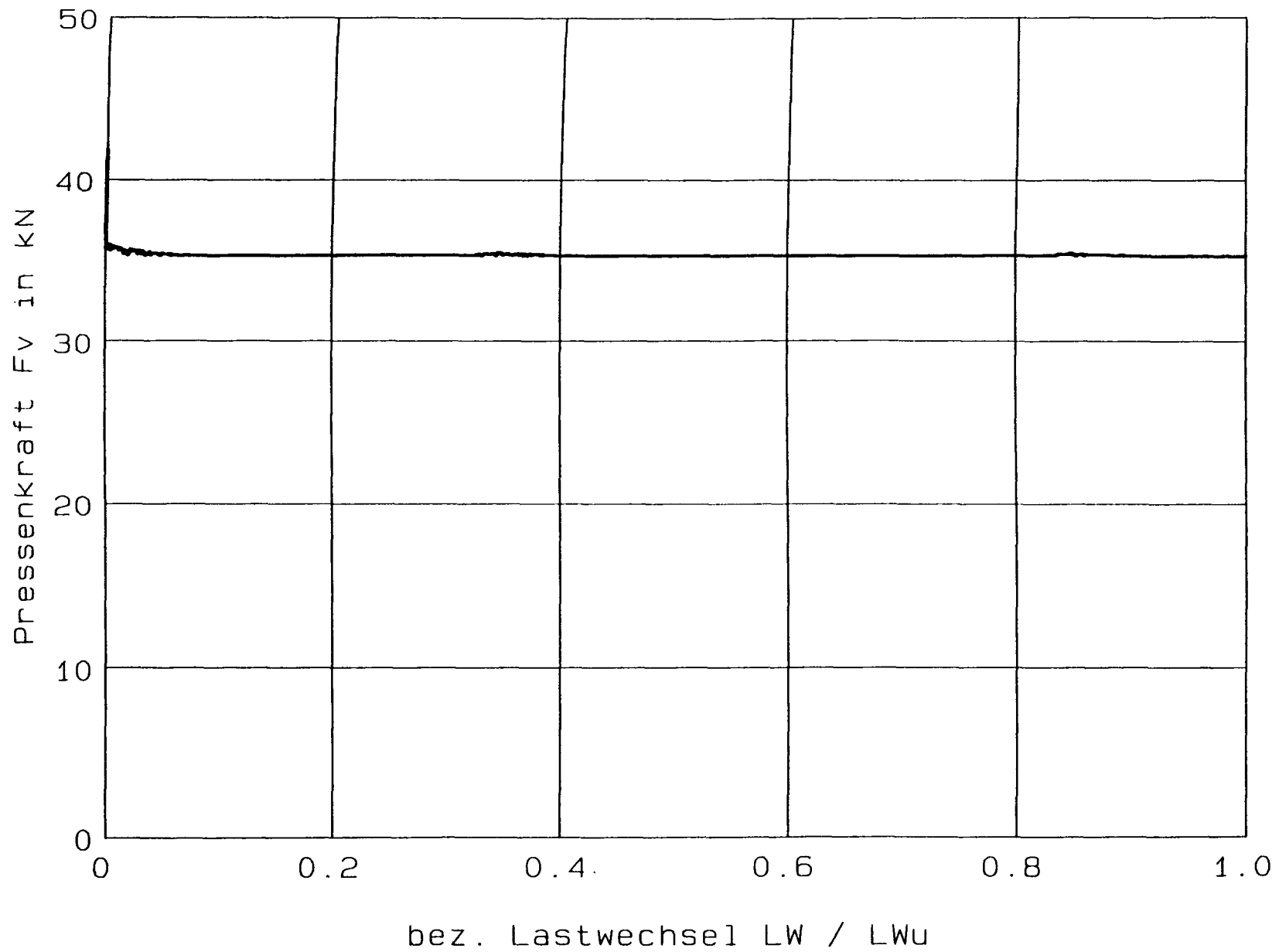
Versuch DYN6: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel



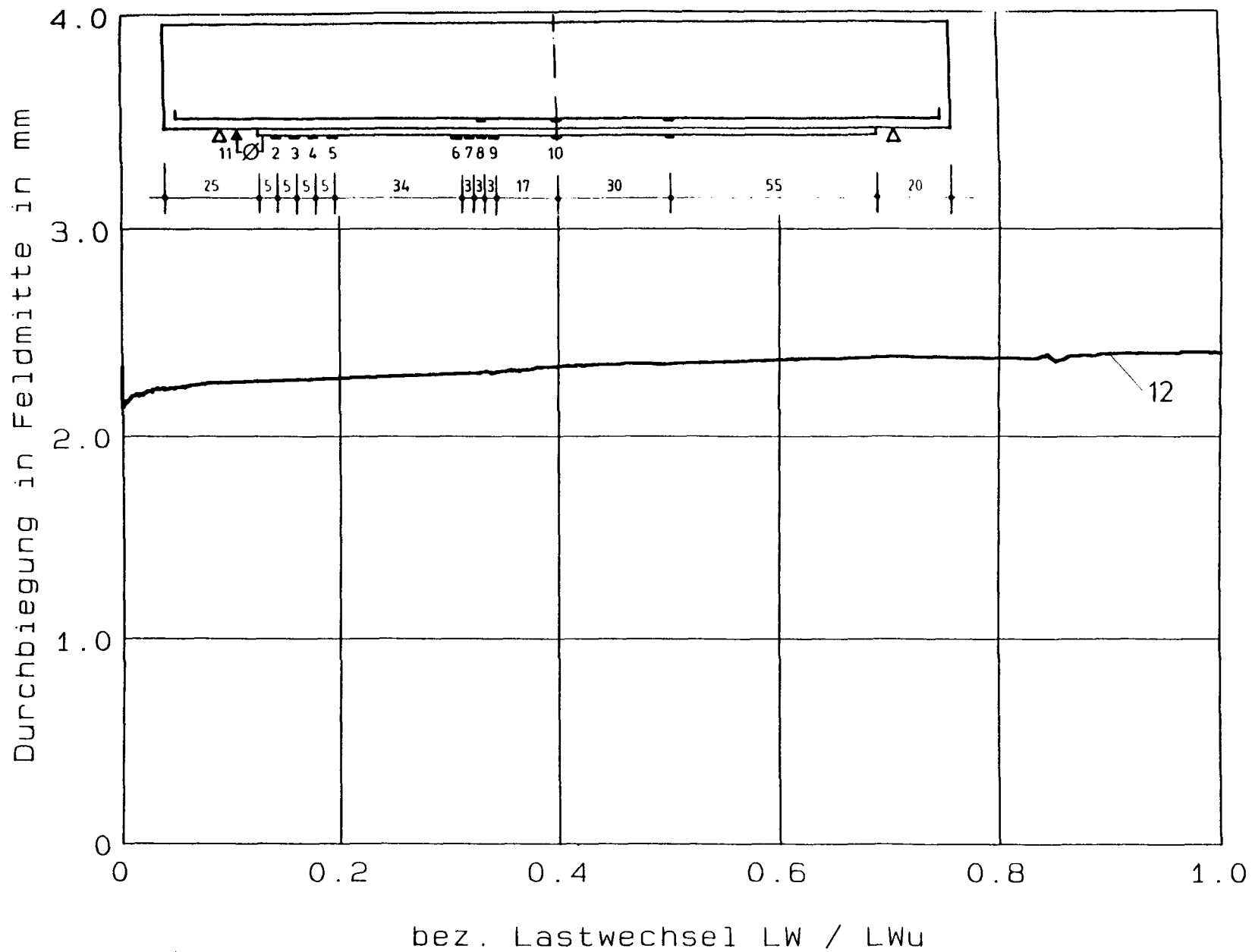
Versuch DYN9: Stahl- und Laschendeformation - Lastwechsel

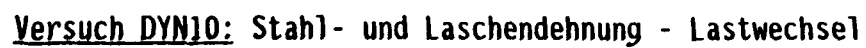


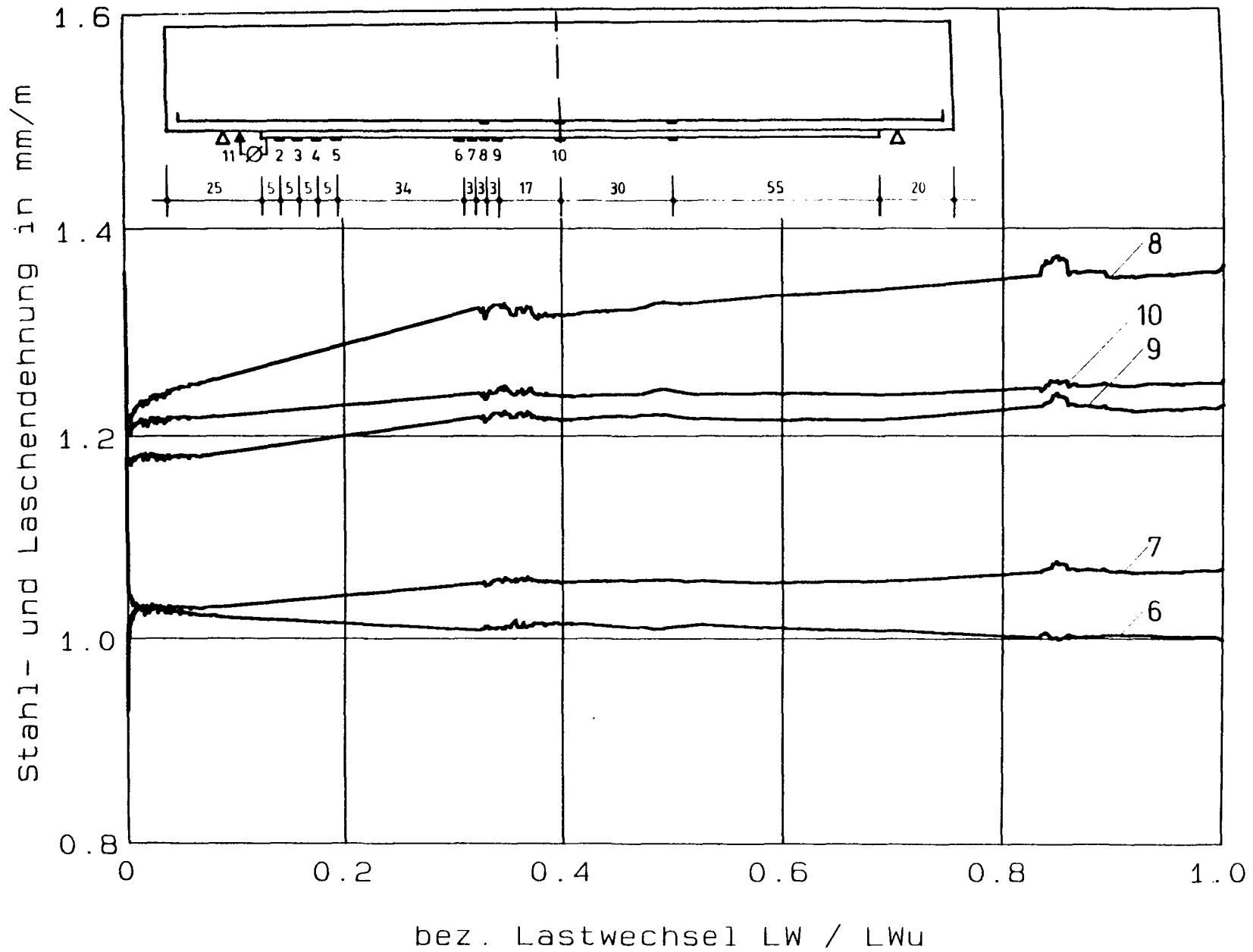
Versuch DYN9: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel



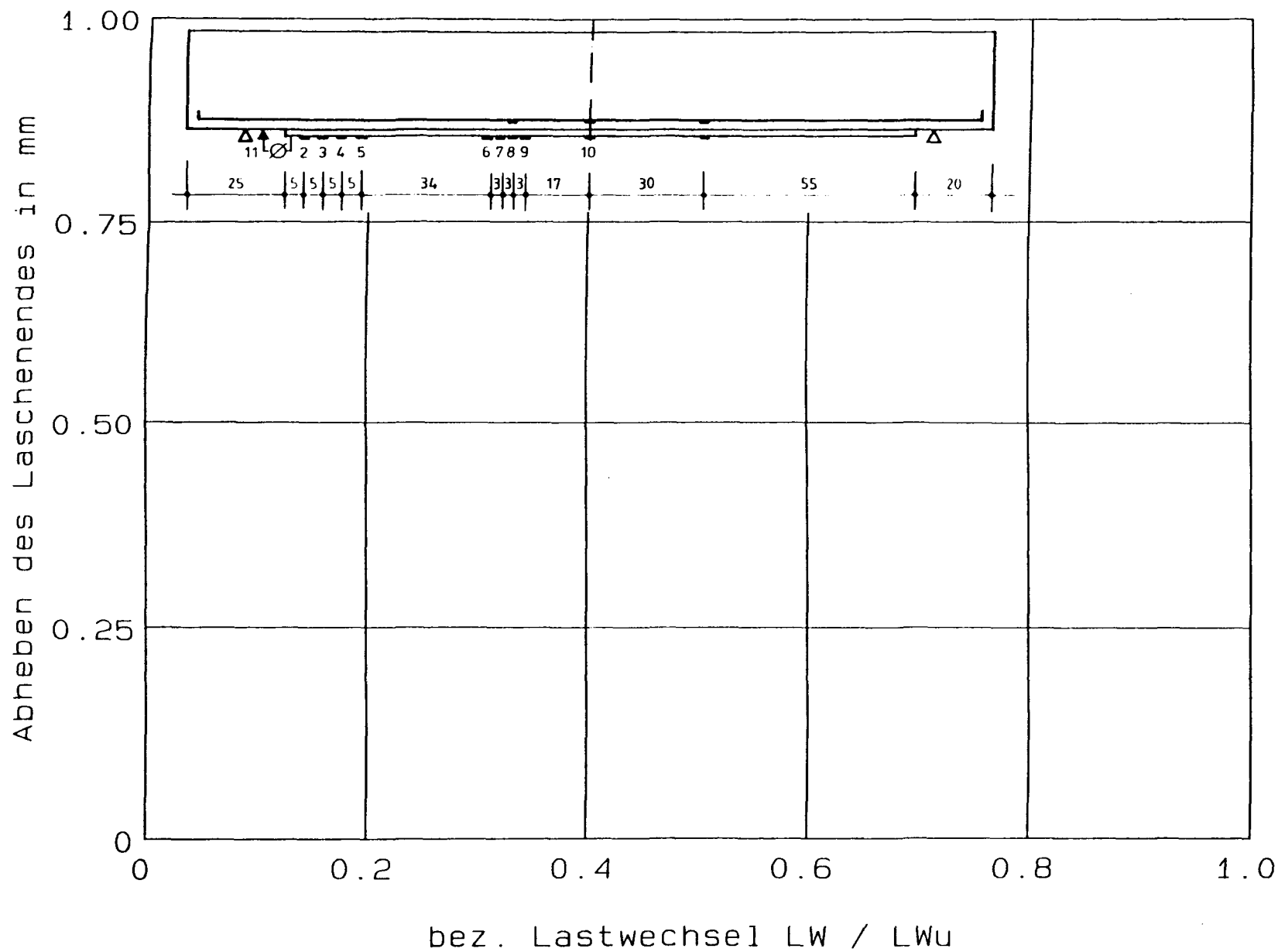
Versuch DYN10: Pressenkraft - Lastwechsel

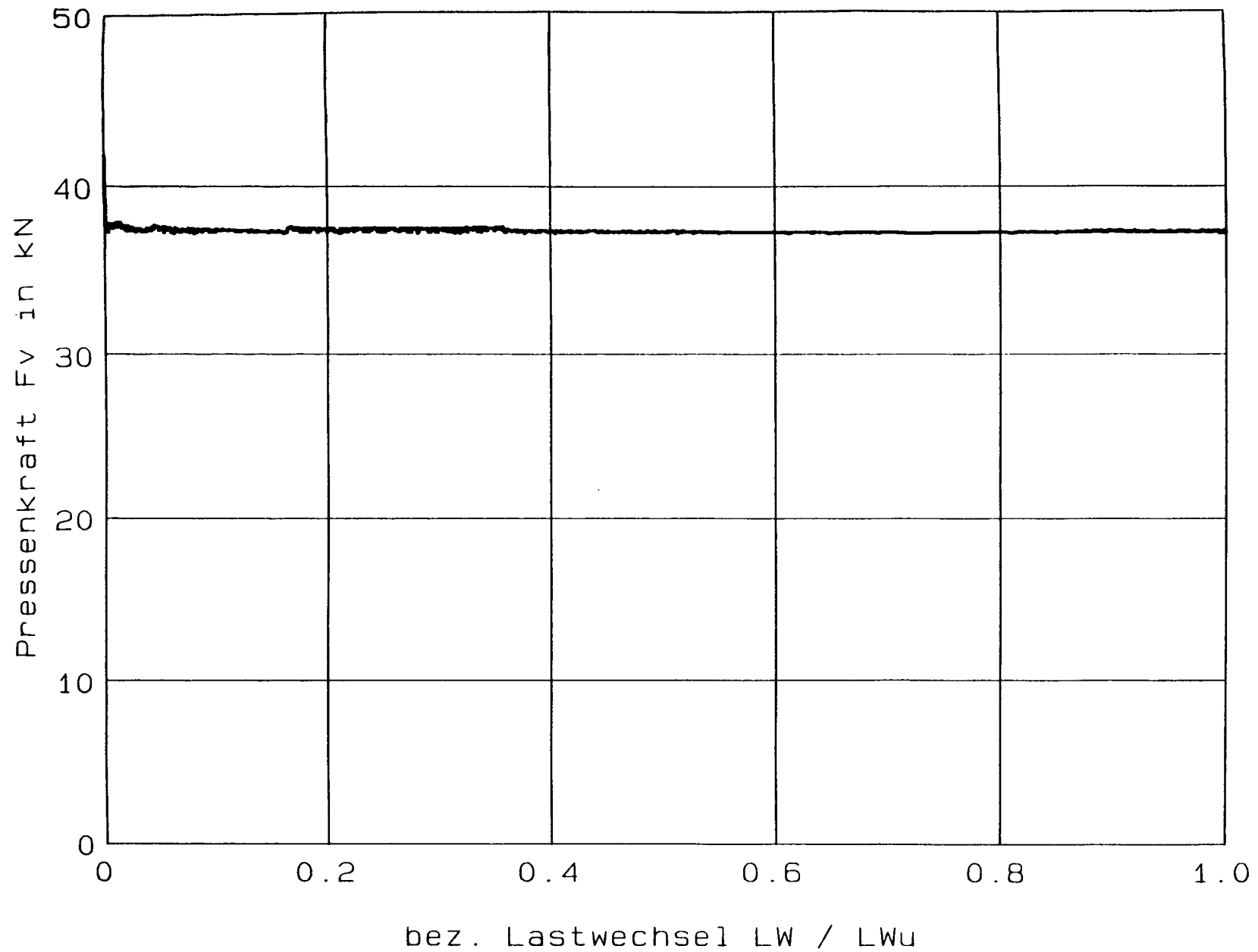
**Versuch DYN10: Durchbiegung - Lastwechsel**



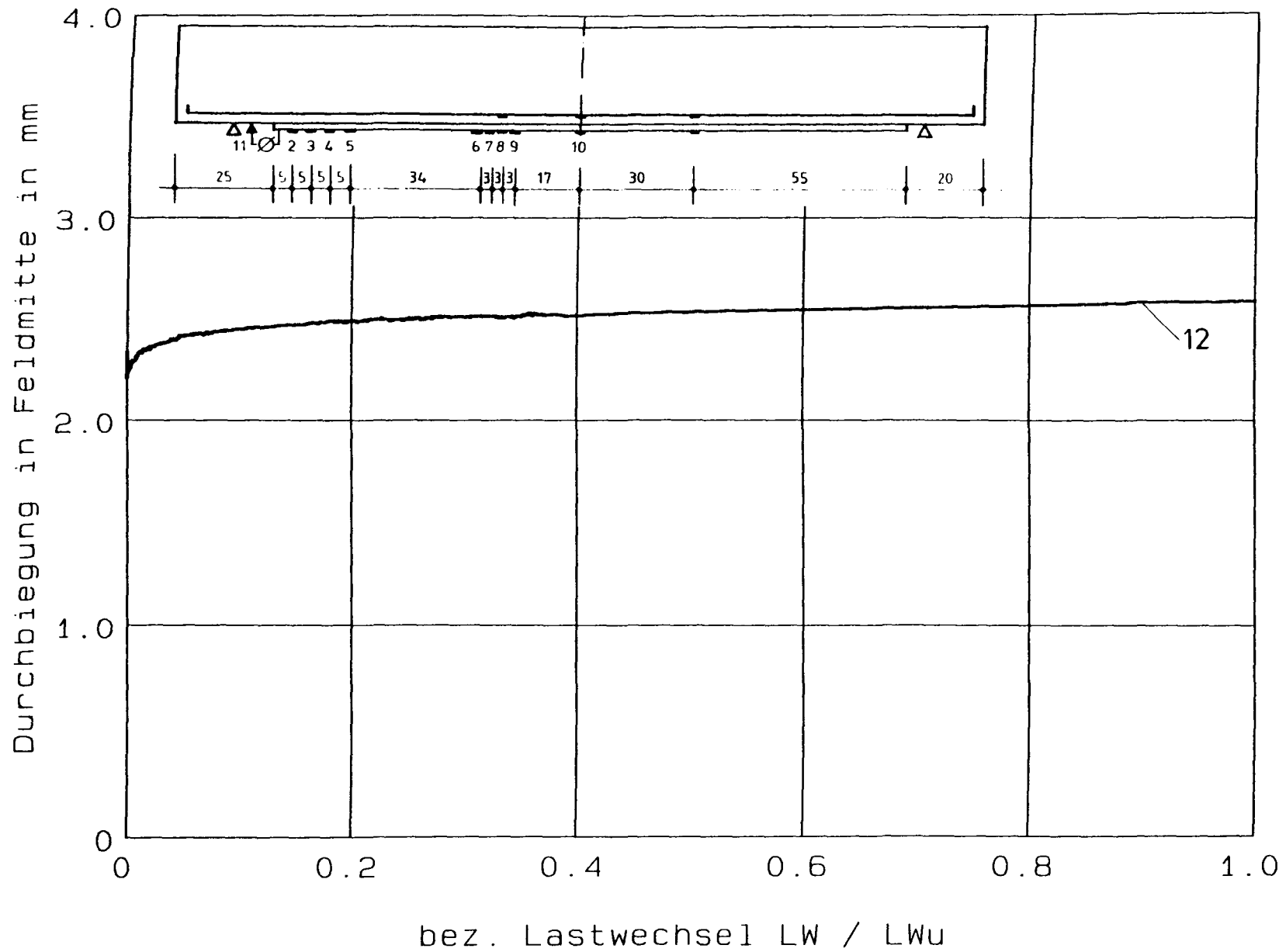


Versuch DYN10: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

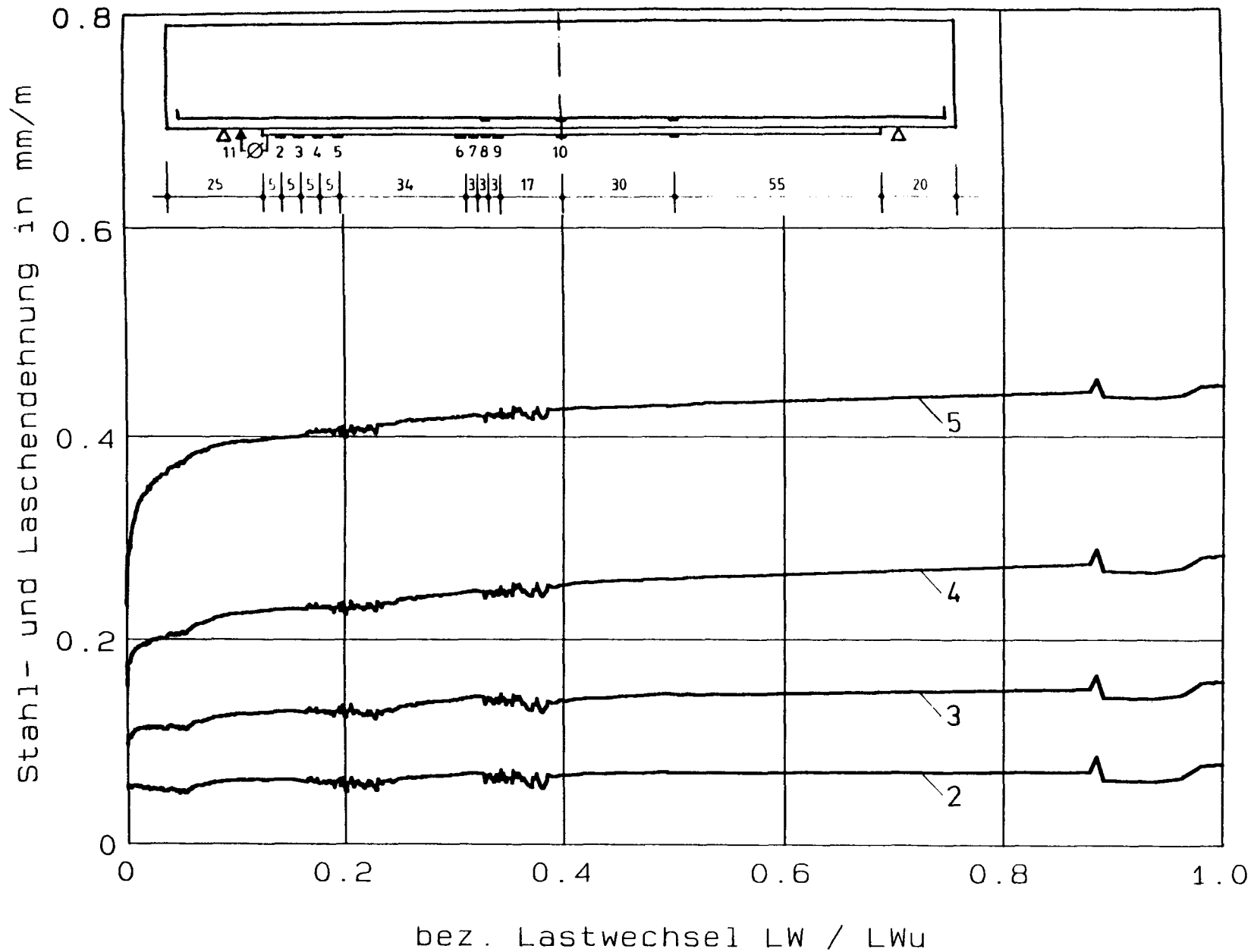
**Versuch DYN10: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel**



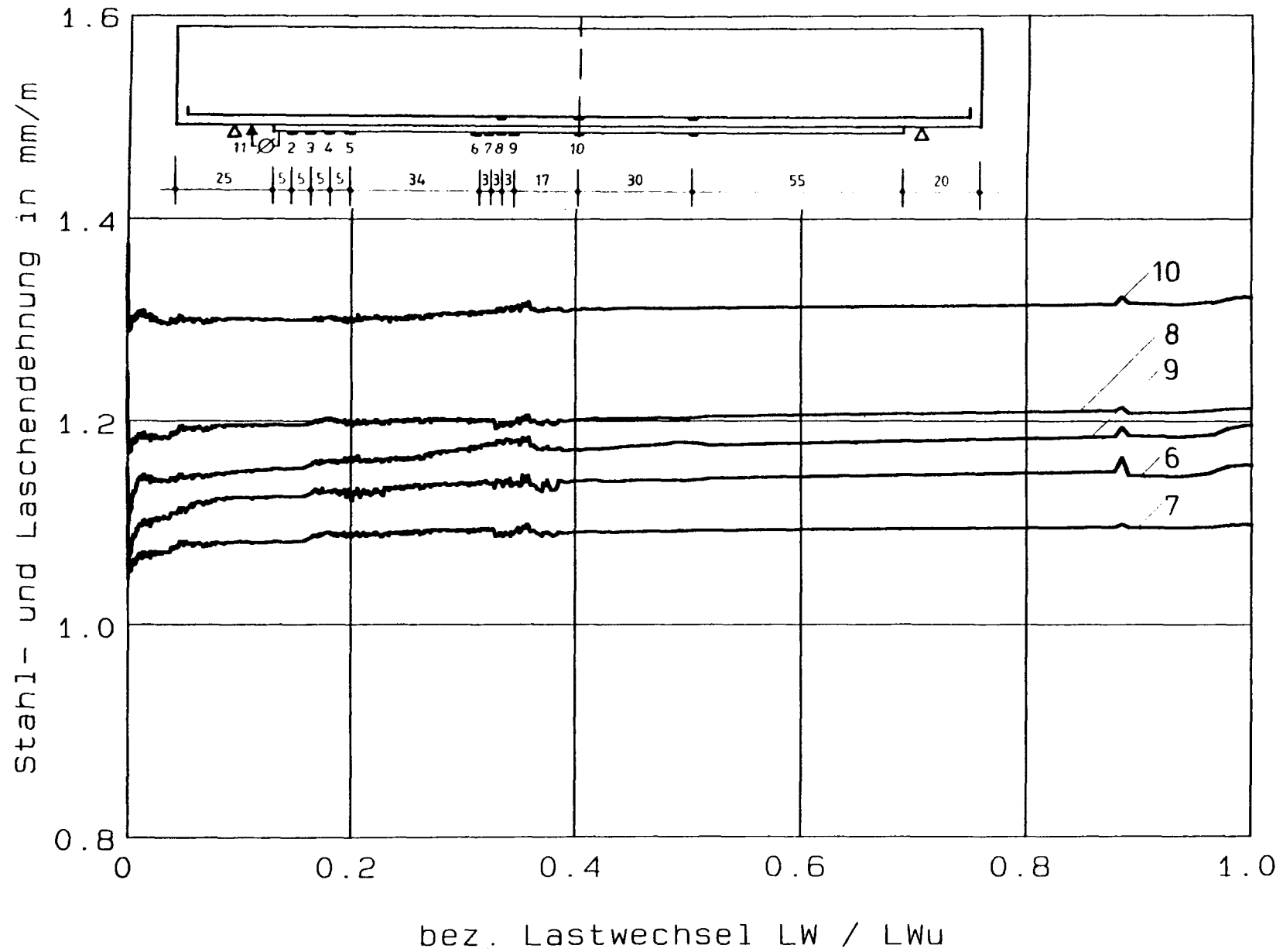
Versuch DYN11: Pressenkraft - Lastwechsel



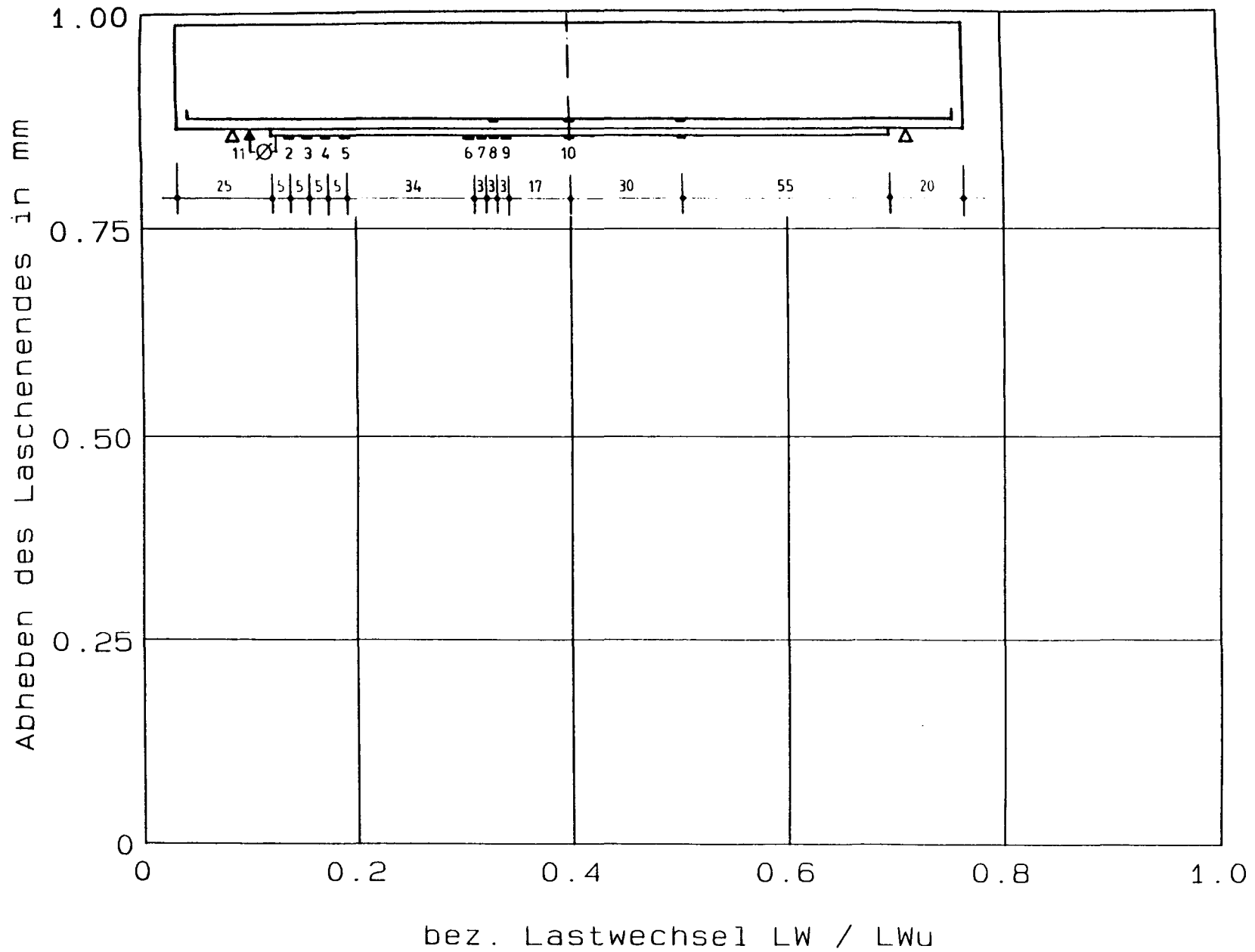
Versuch DYN11: Durchbiegung - Lastwechsel

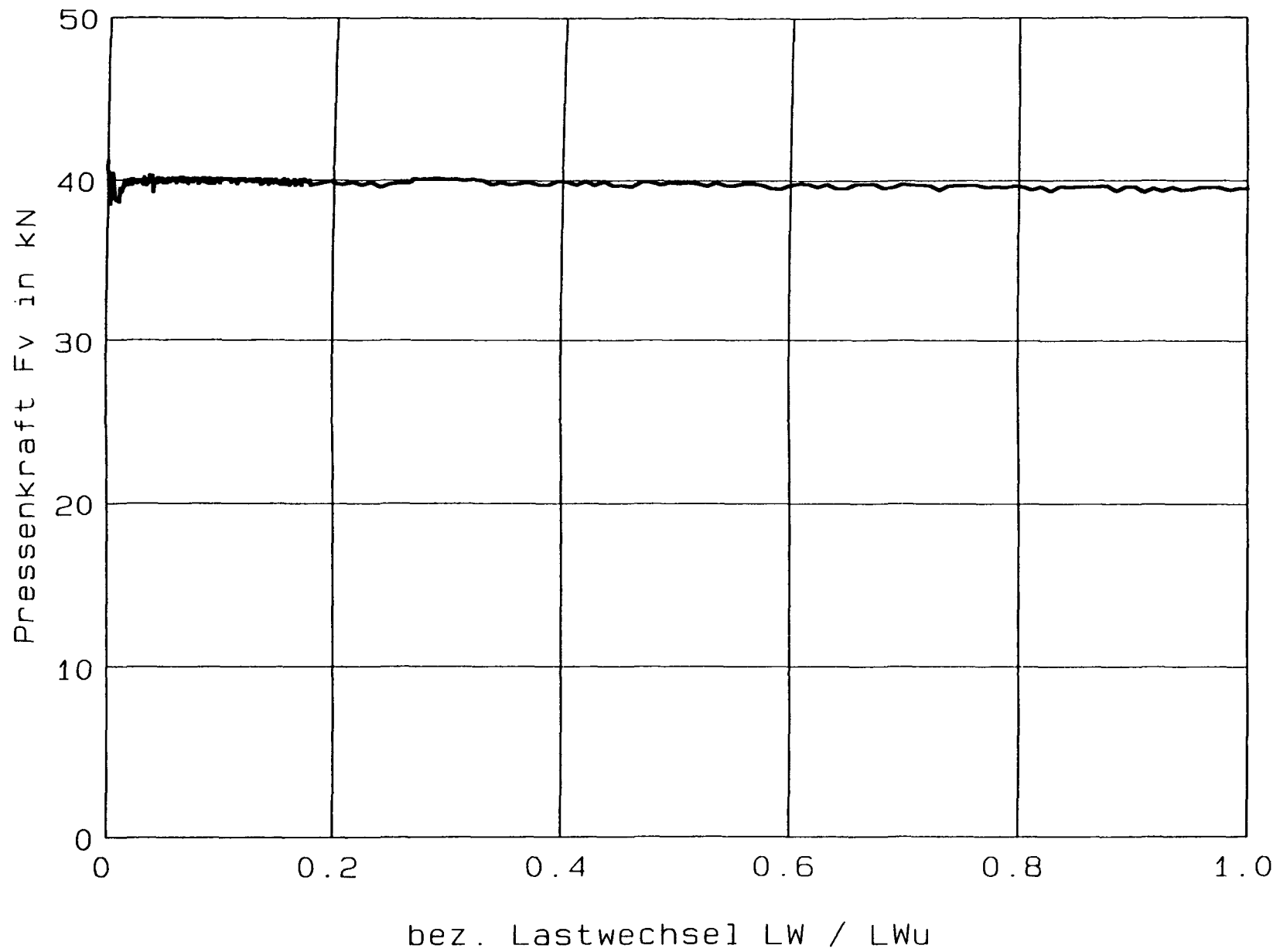


Versuch DYN11: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

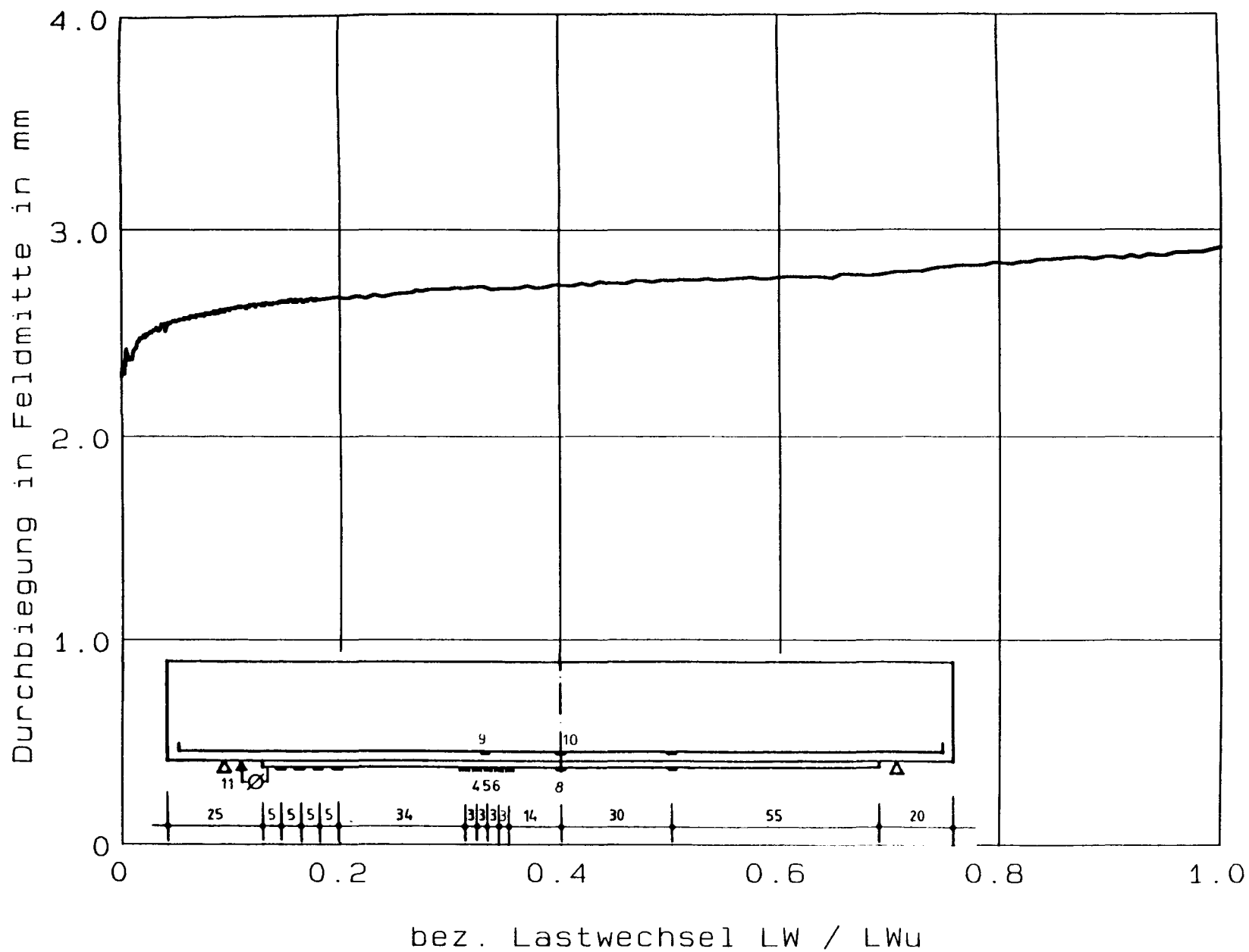


Versuch DYN11: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

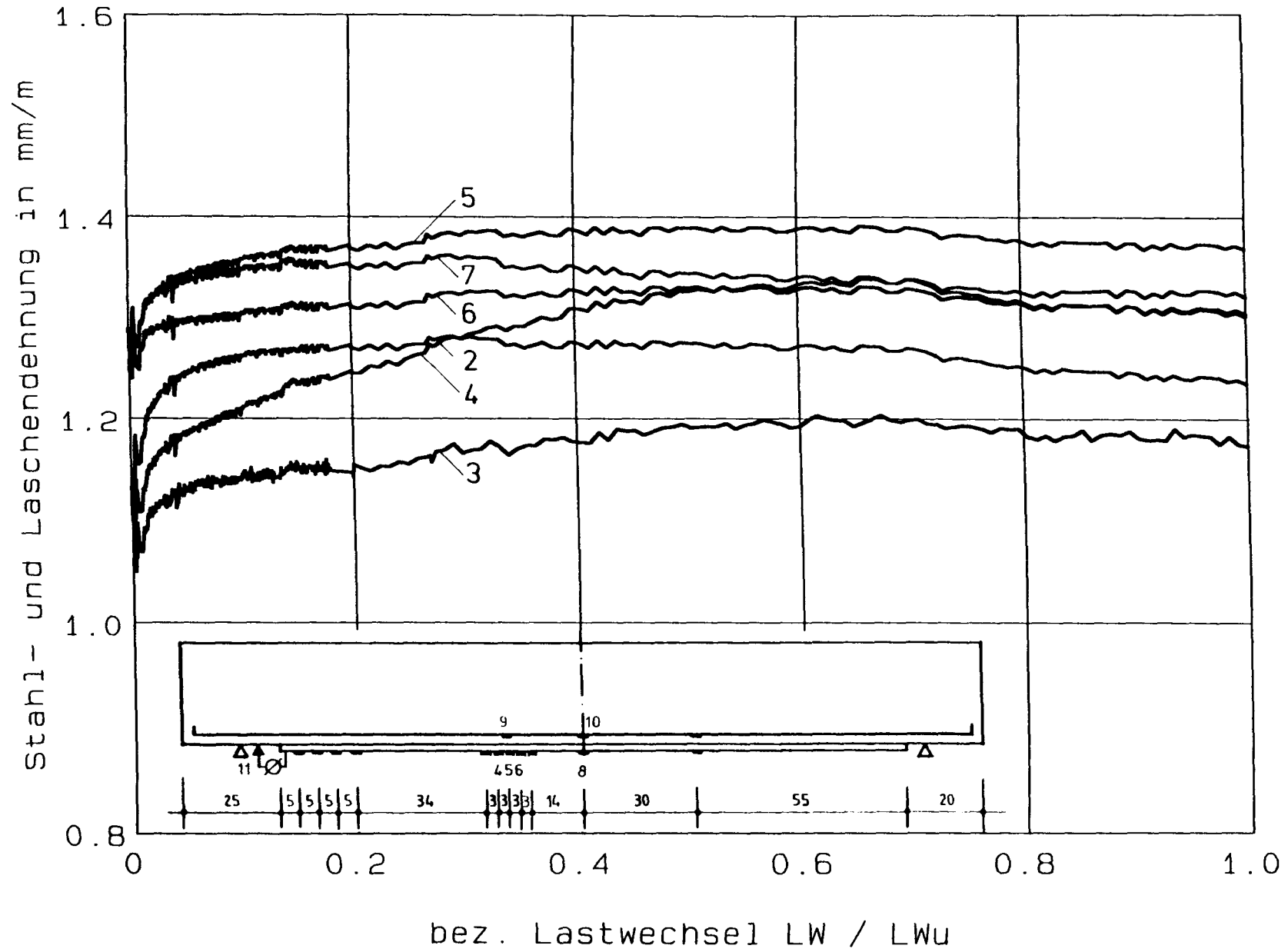
**Versuch DYN11:** Abheben des Laschenendes - Lastwechsel



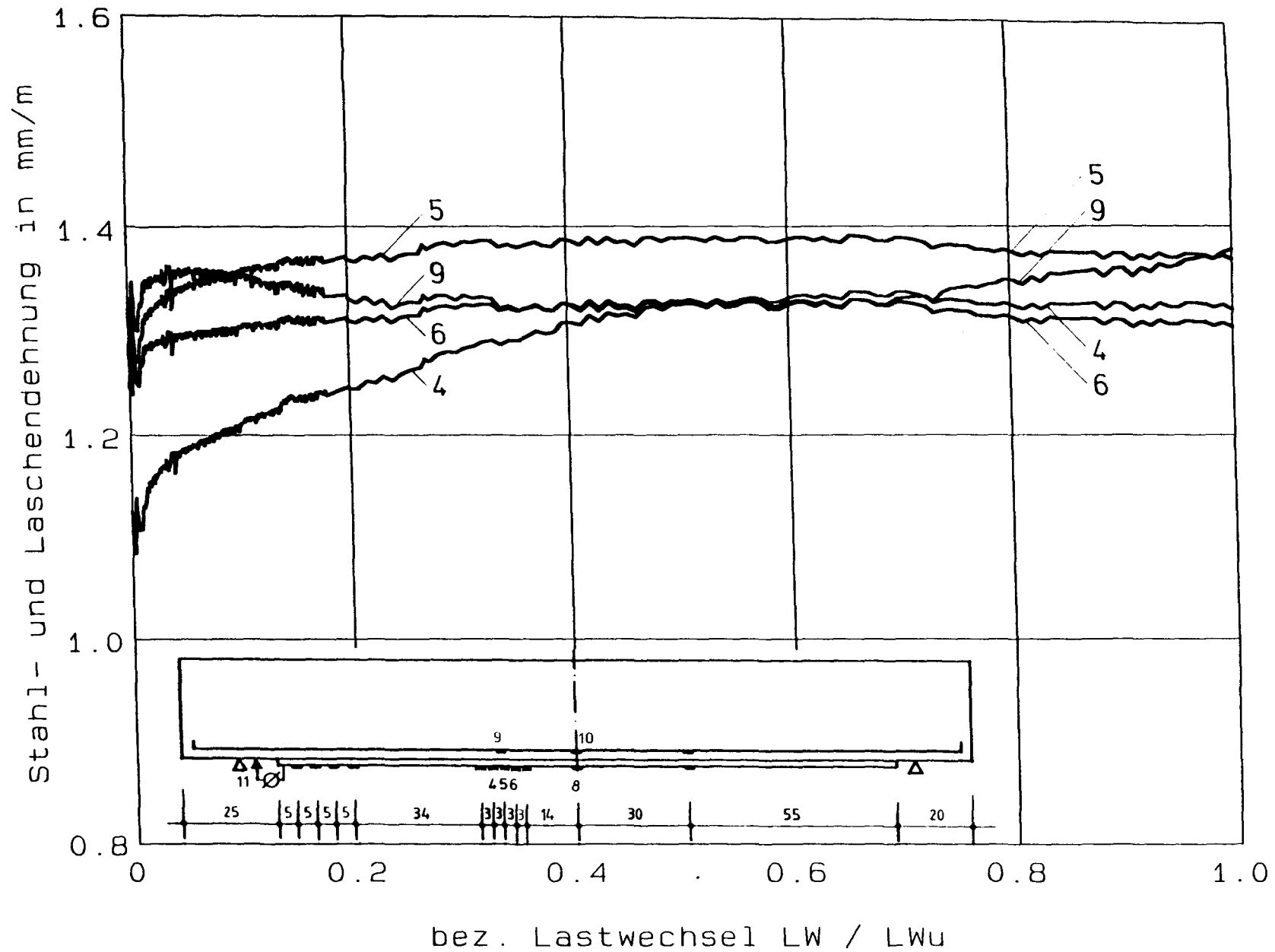
Versuch DYN12: Pressenkraft - Lastwechsel



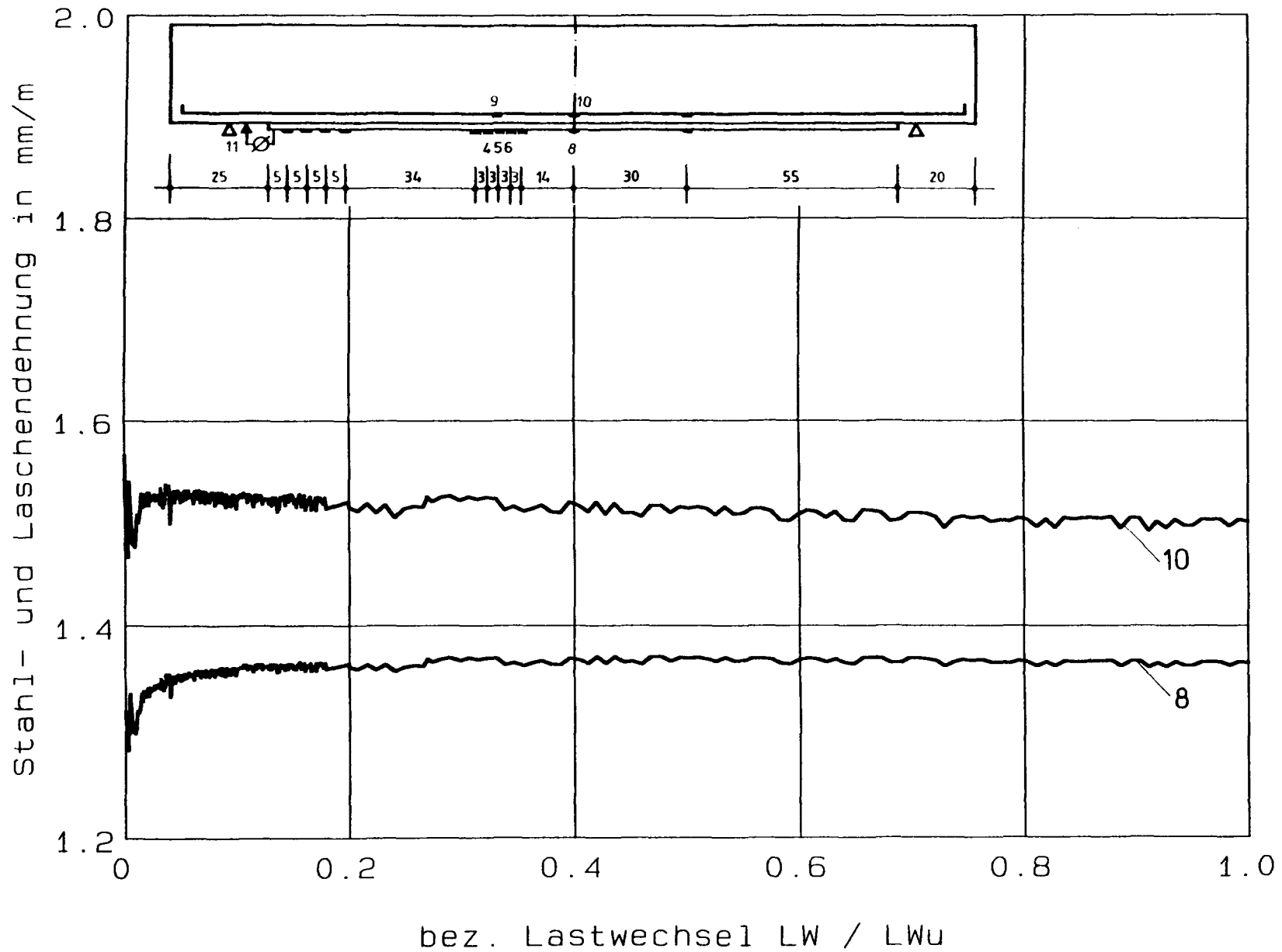
Versuch DYN12: Durchbiegung - Lastwechsel



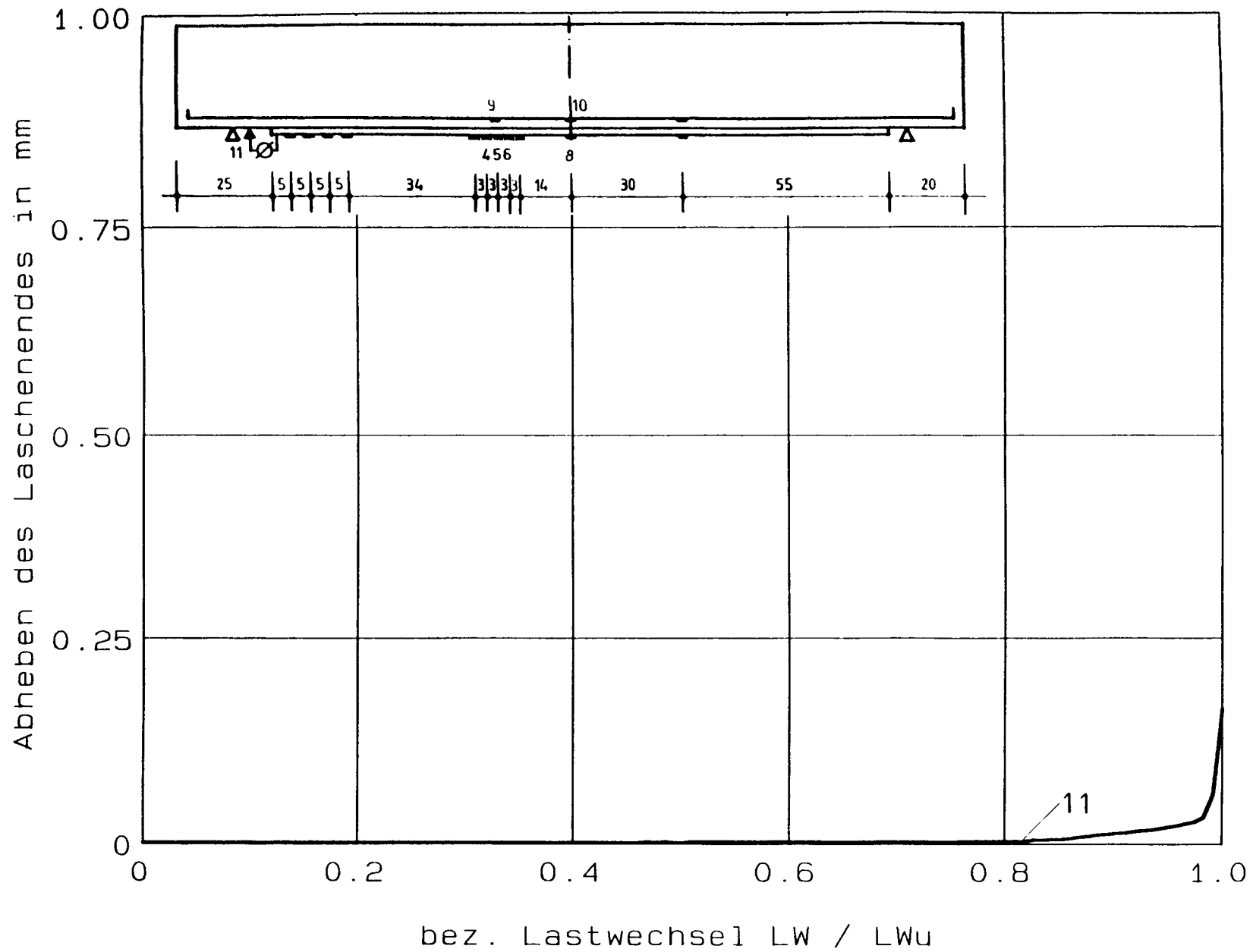
Versuch DYN12: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

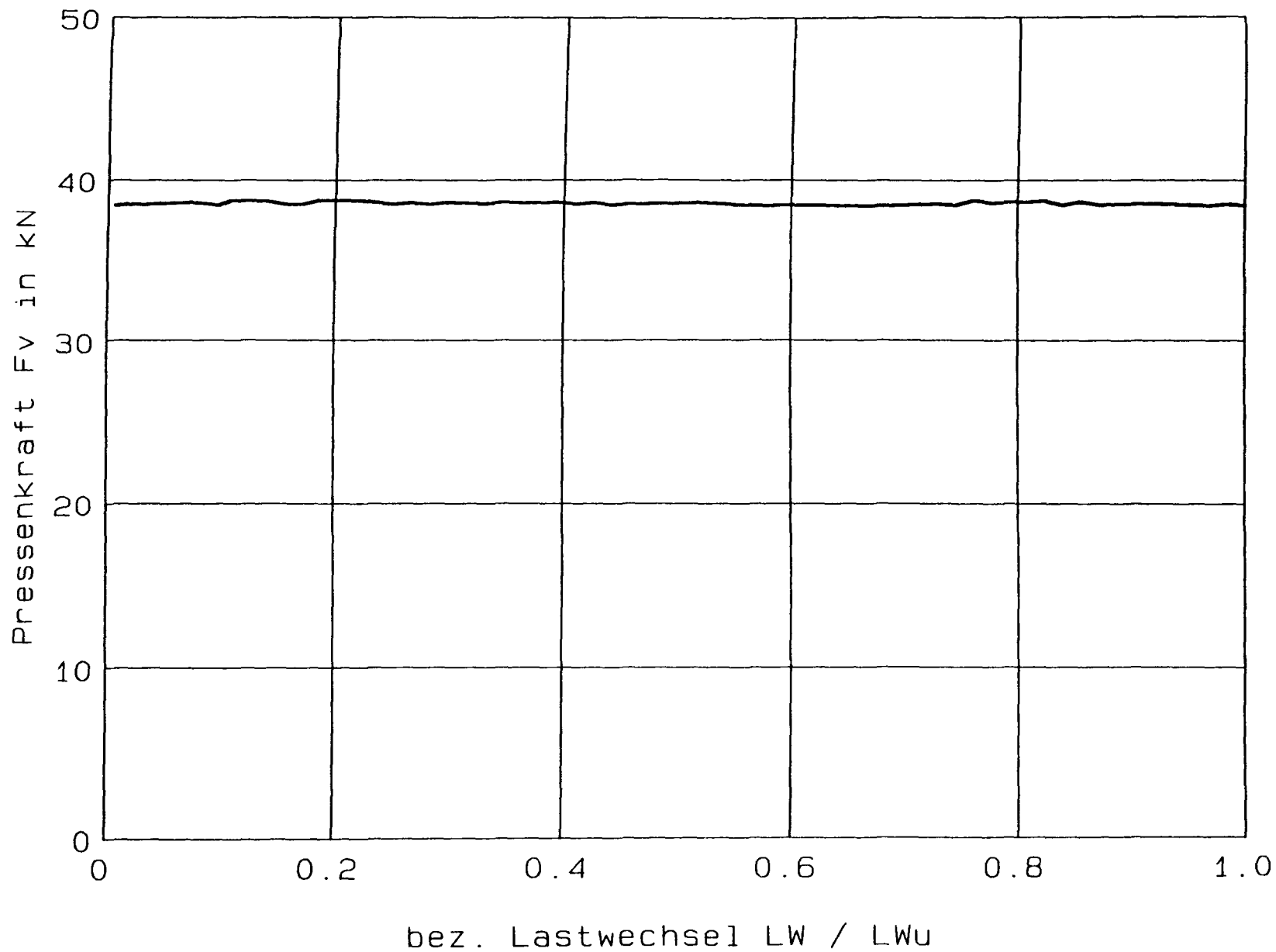


Versuch DYN12: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

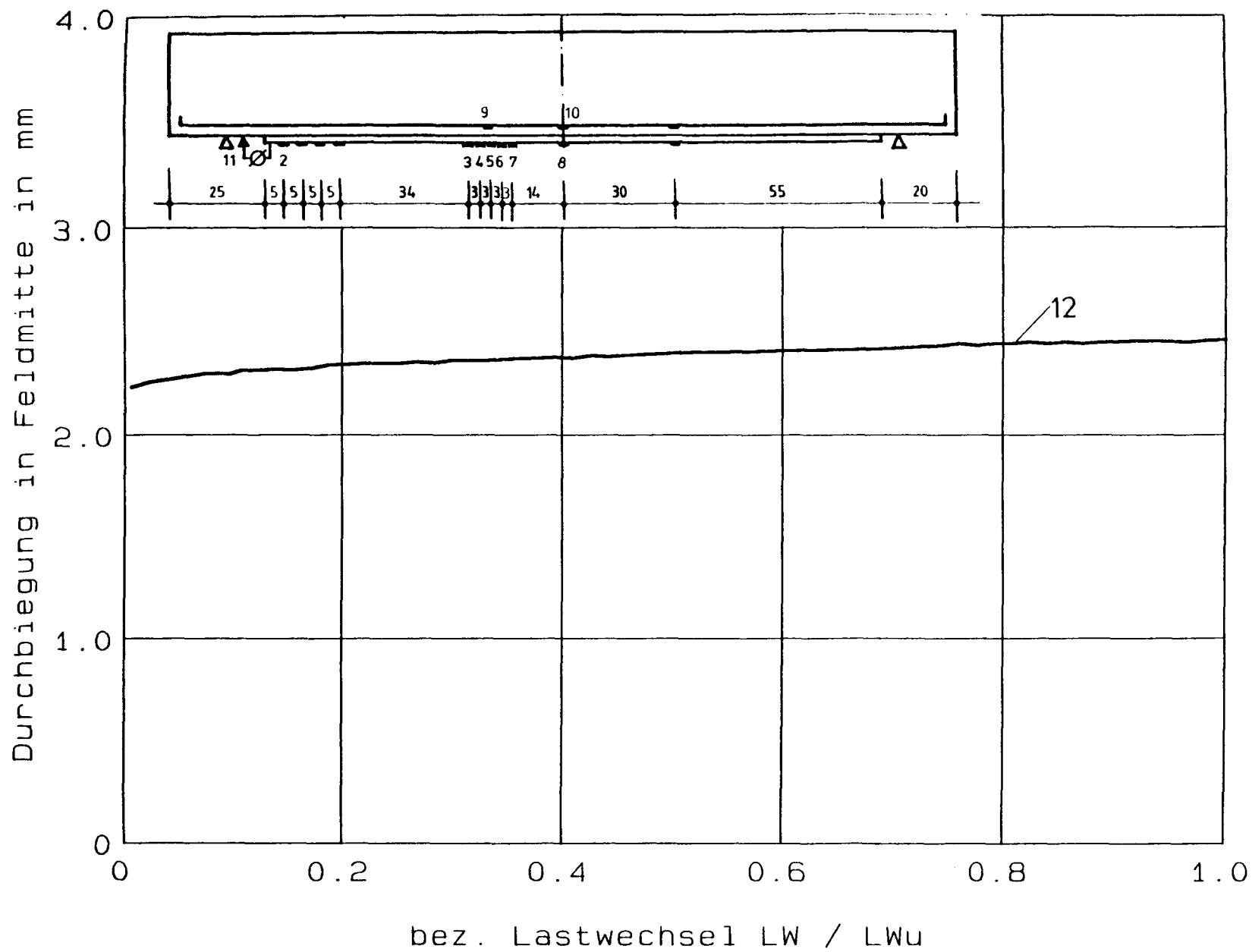


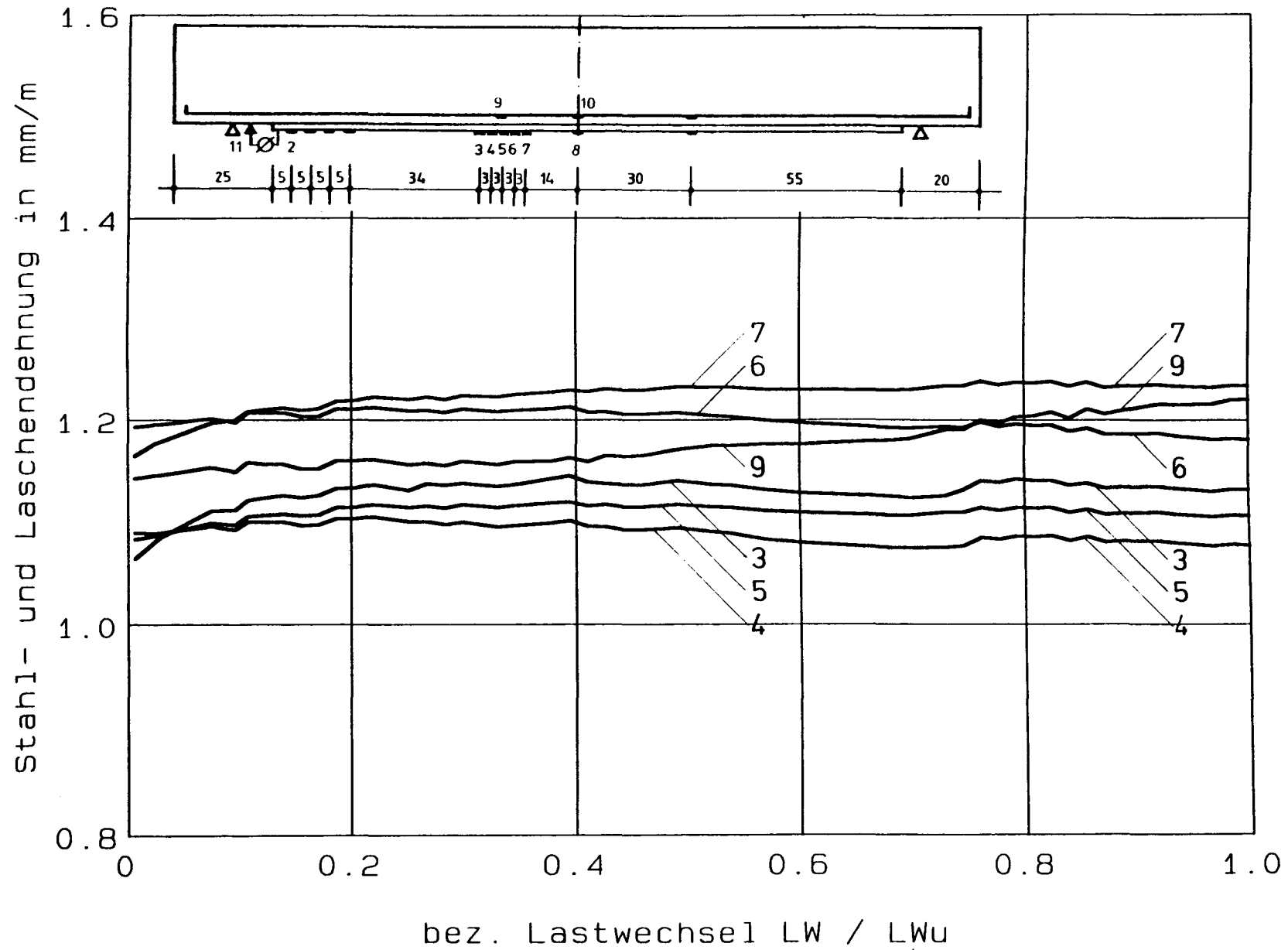
Versuch DYN12: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

**Versuch DYN12: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel**

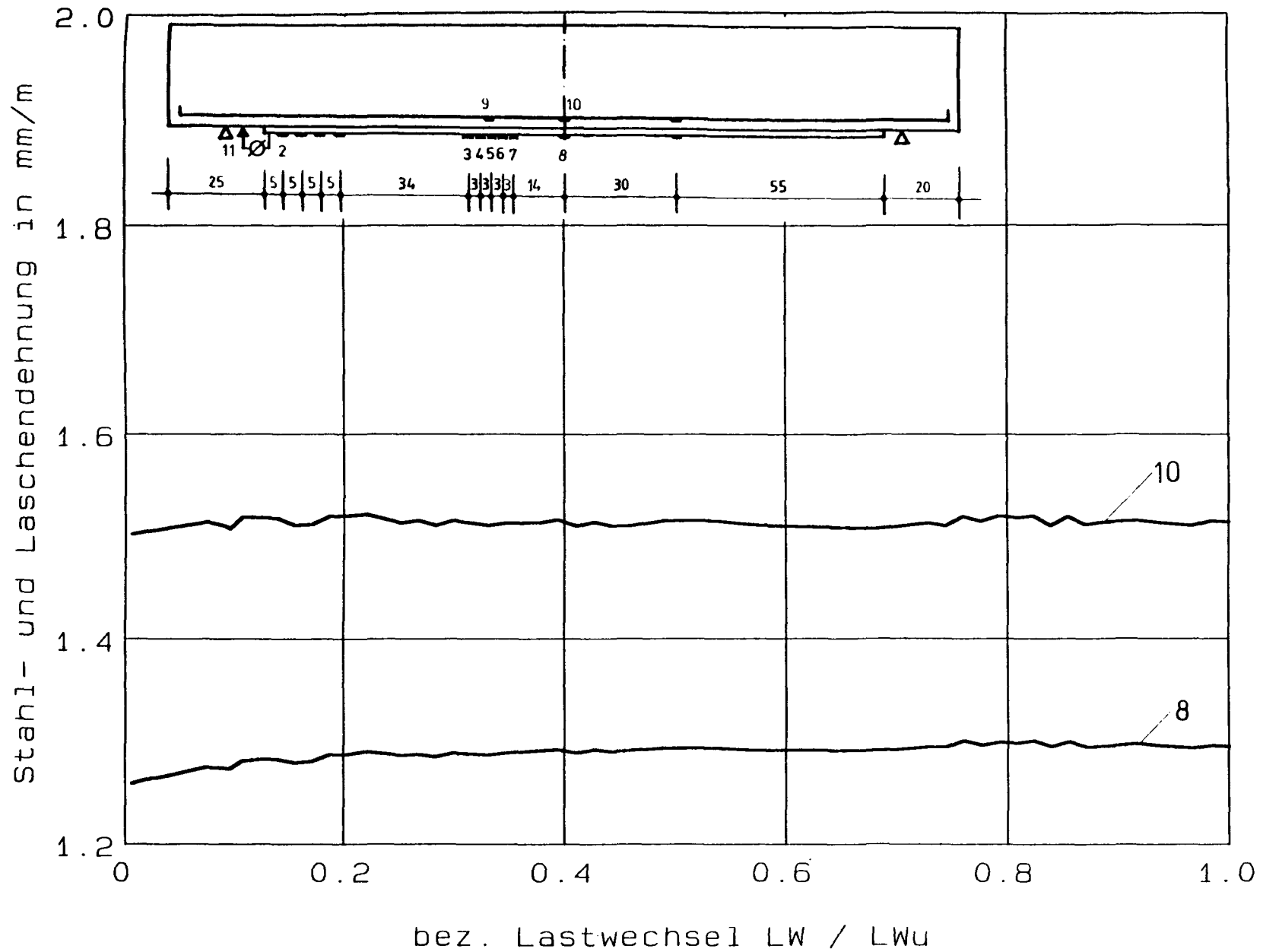


Versuch DYN14: Pressenkraft - Lastwechsel?

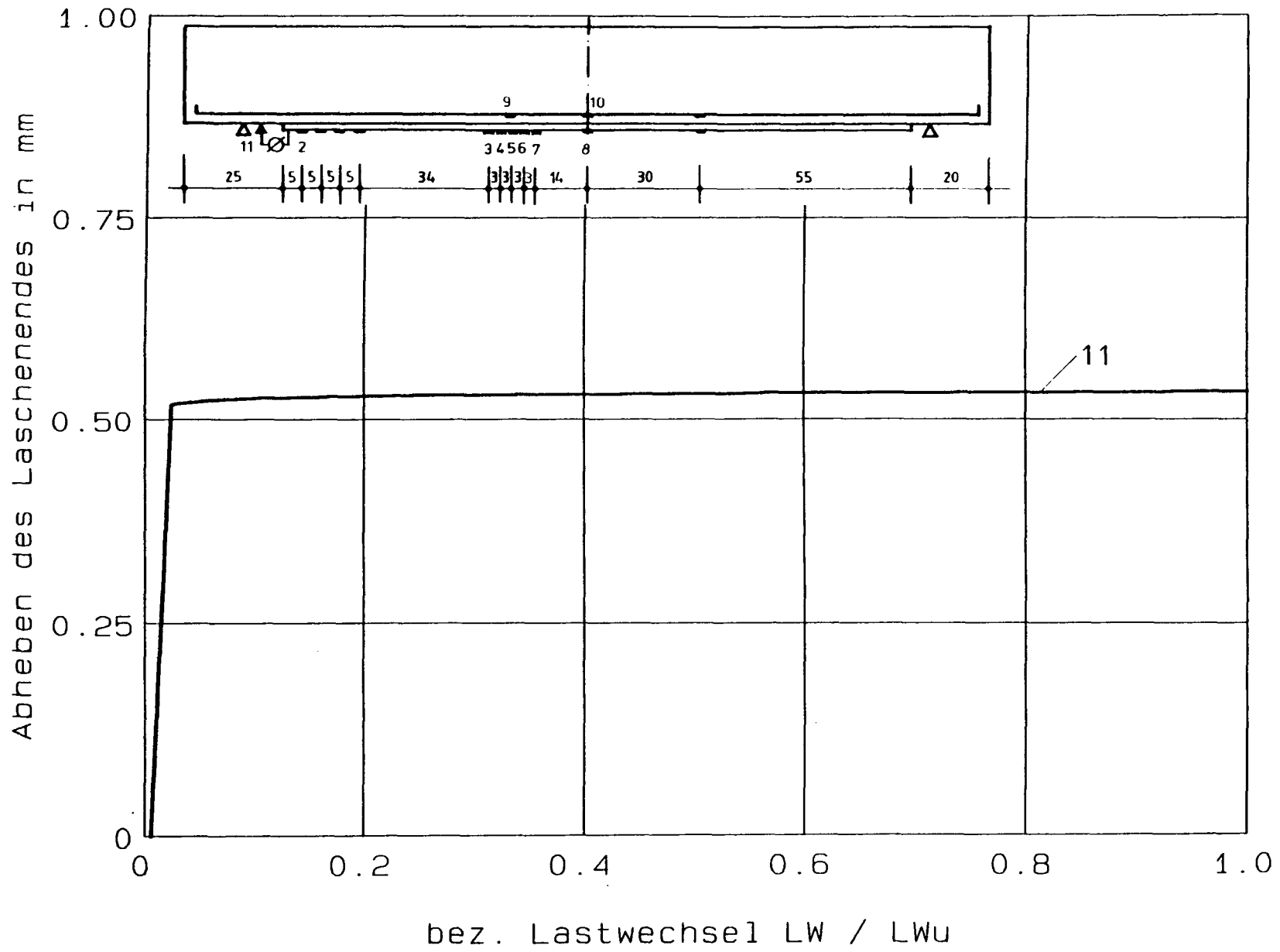
**Versuch DYN14: Durchbiegung - Lastwechsel**



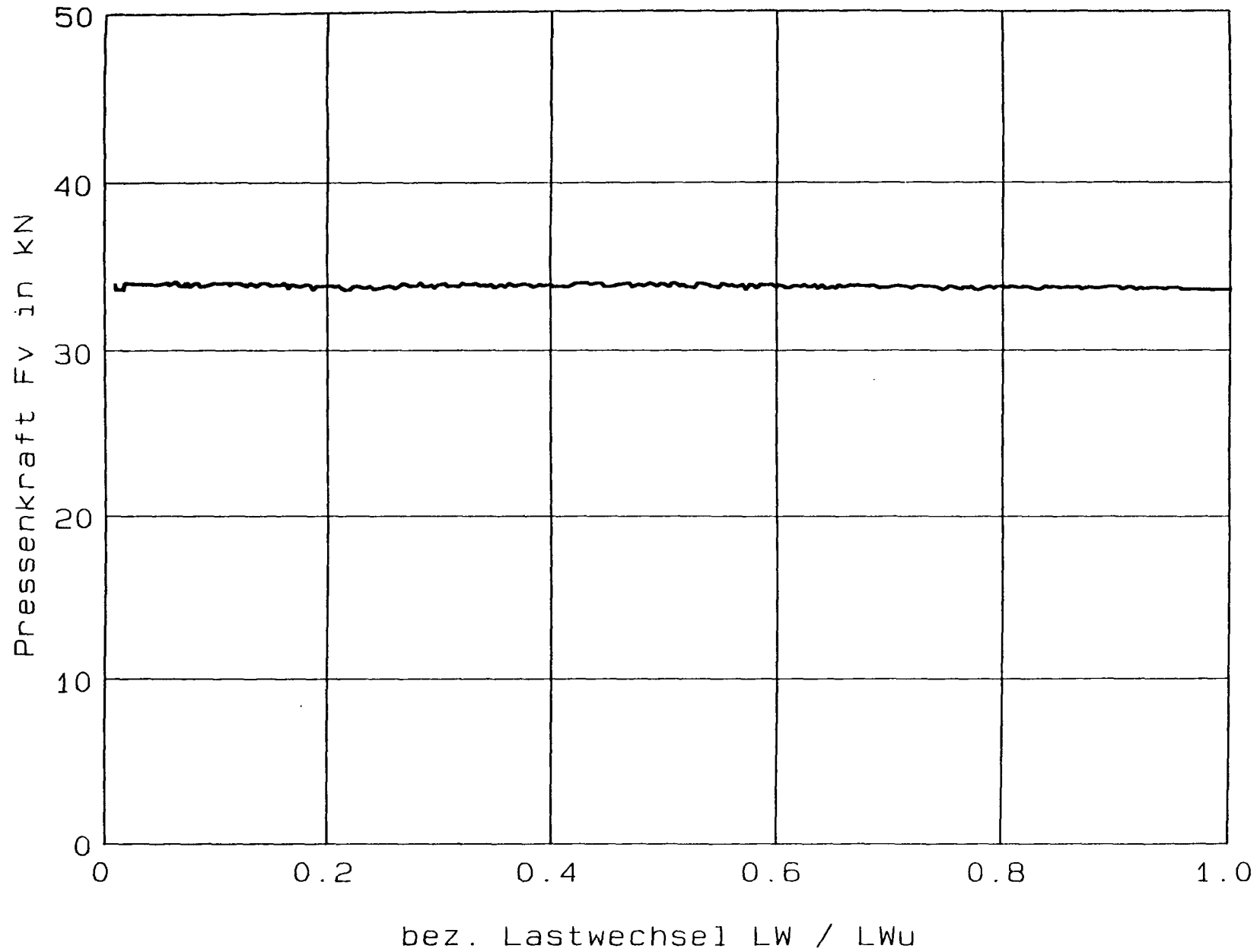
Versuch DYN14: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

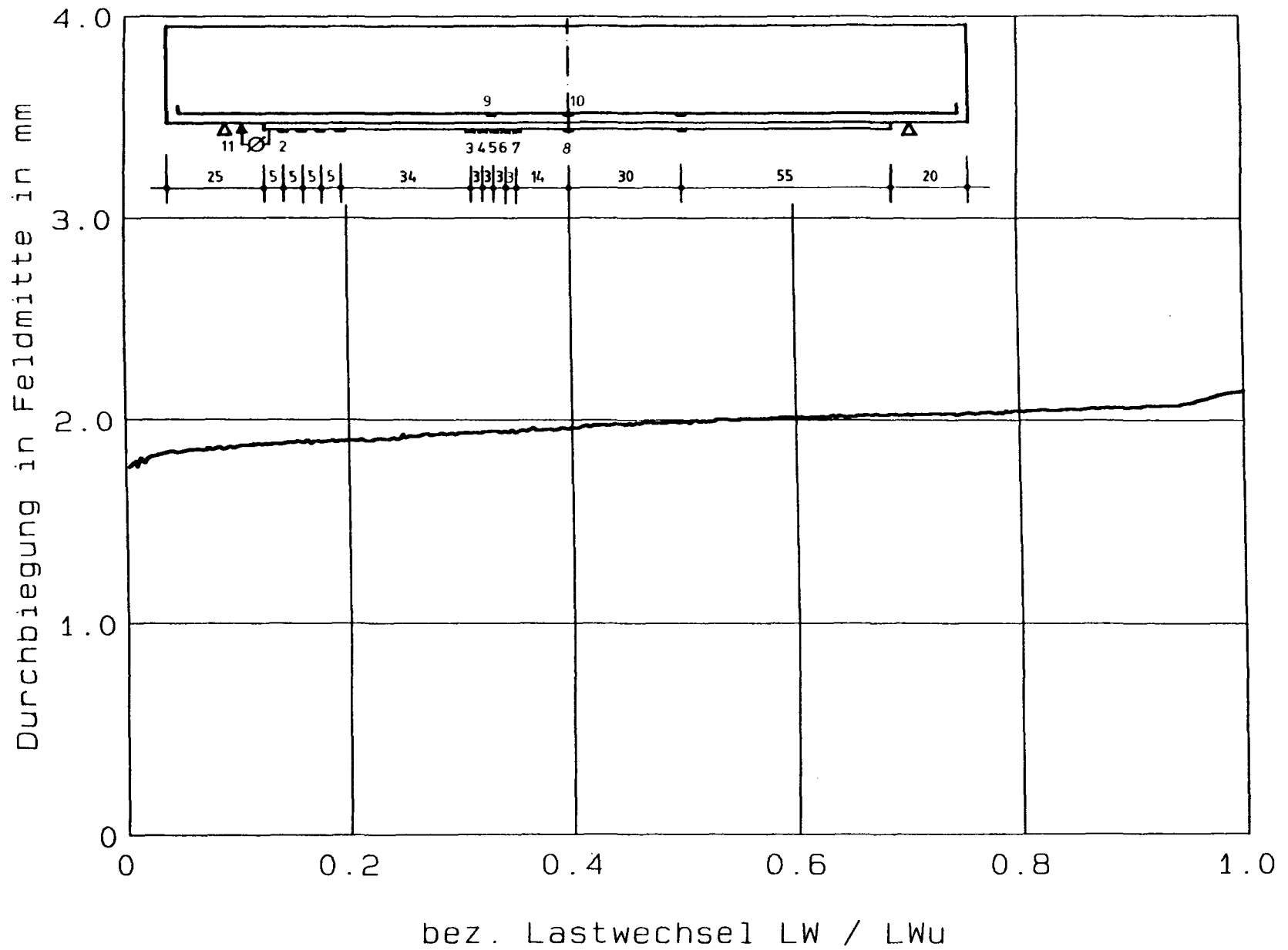


Versuch DYN14: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

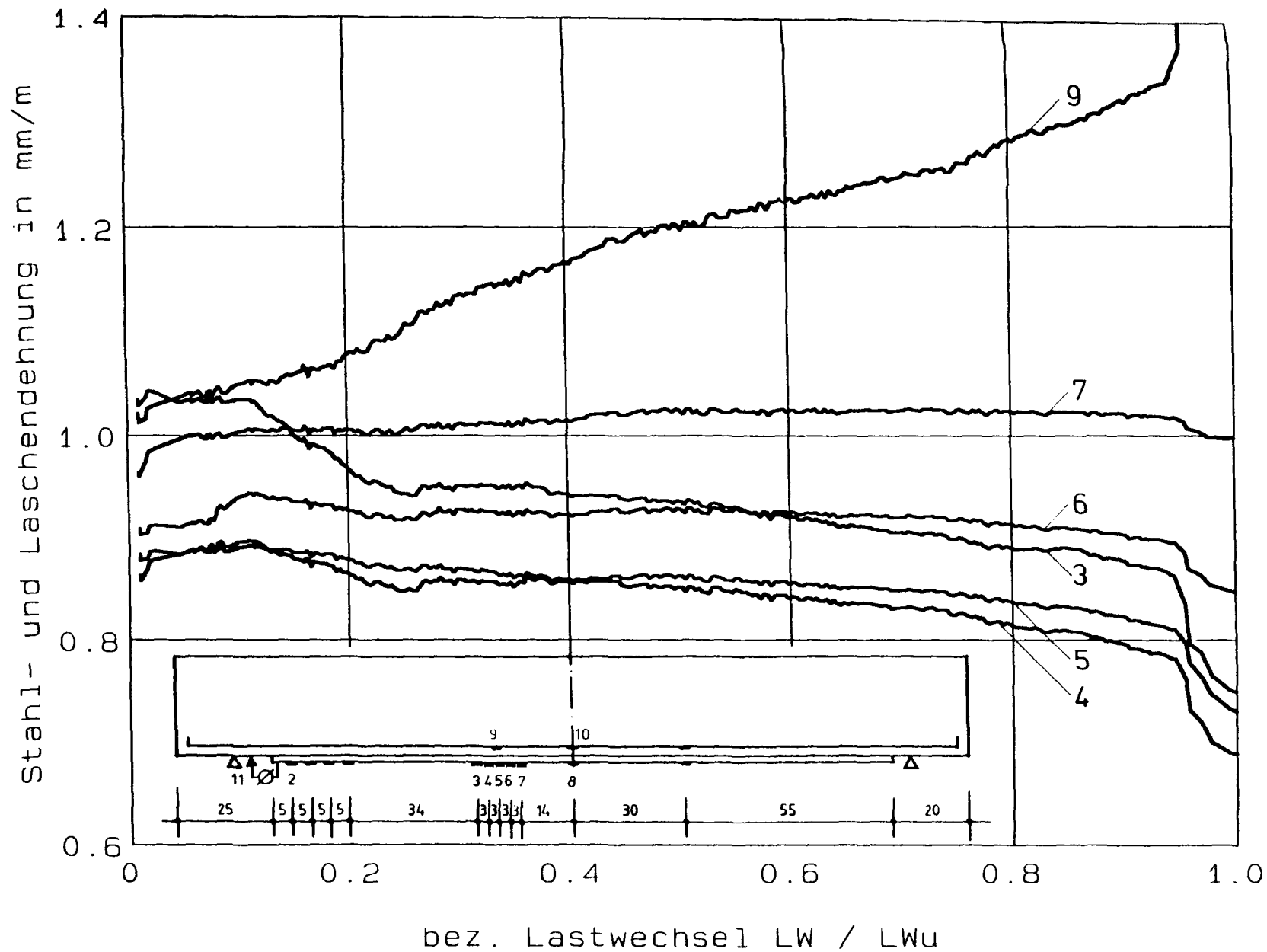


Versuch DYN14: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel

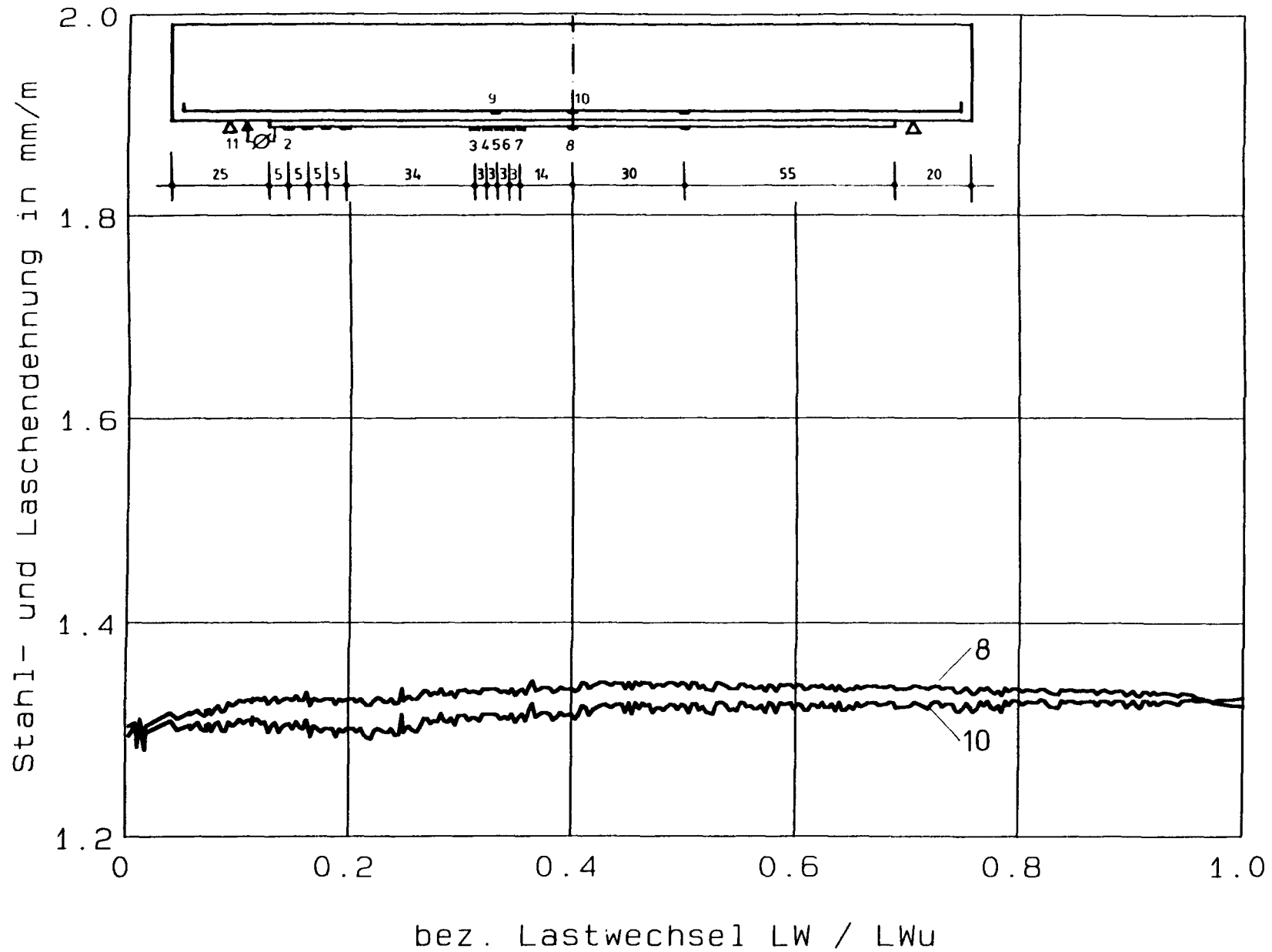
**Versuch DYN15: Pressenkraft - Lastwechsel**

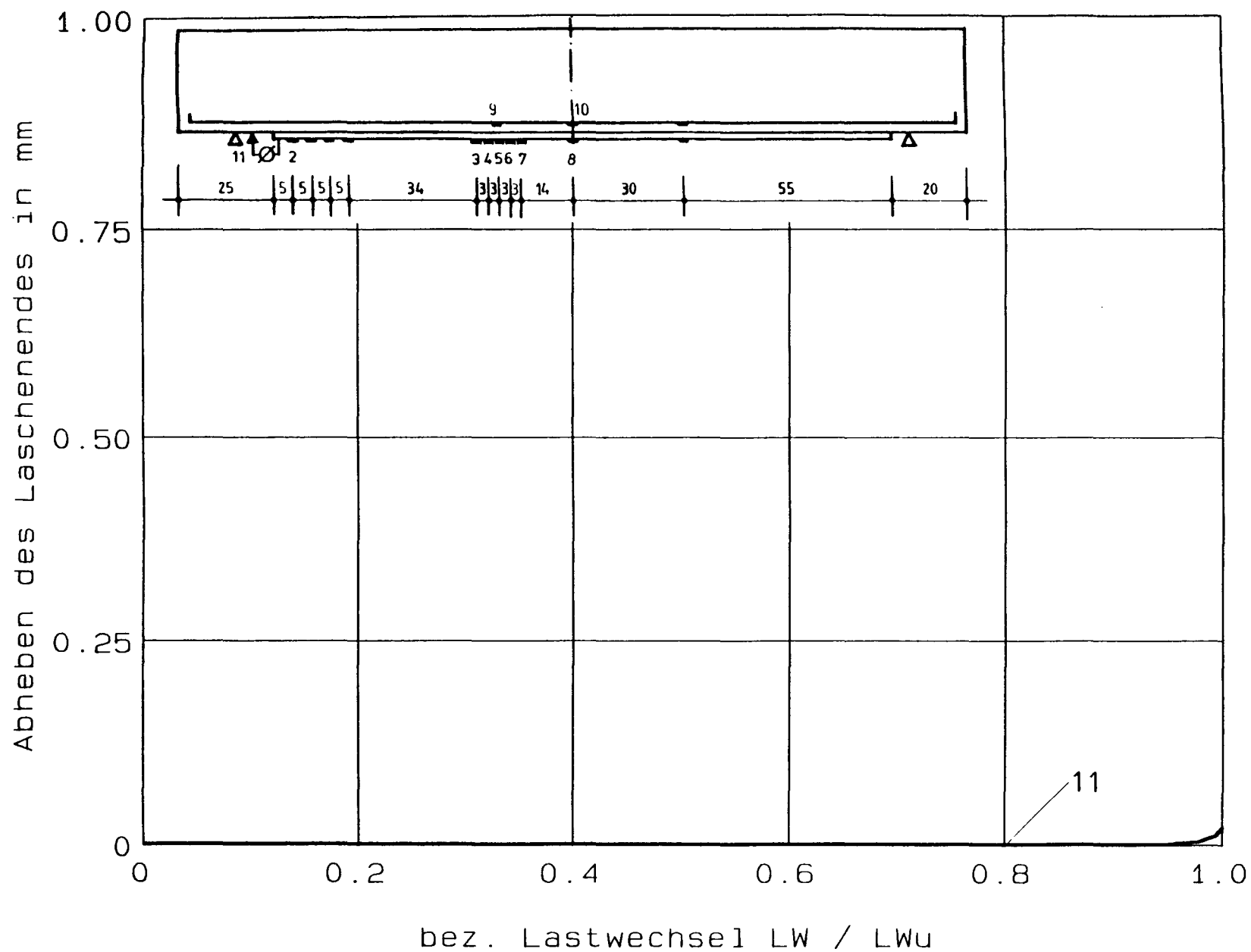


Versuch DYN15: Durchbiegung - Lastwechsel

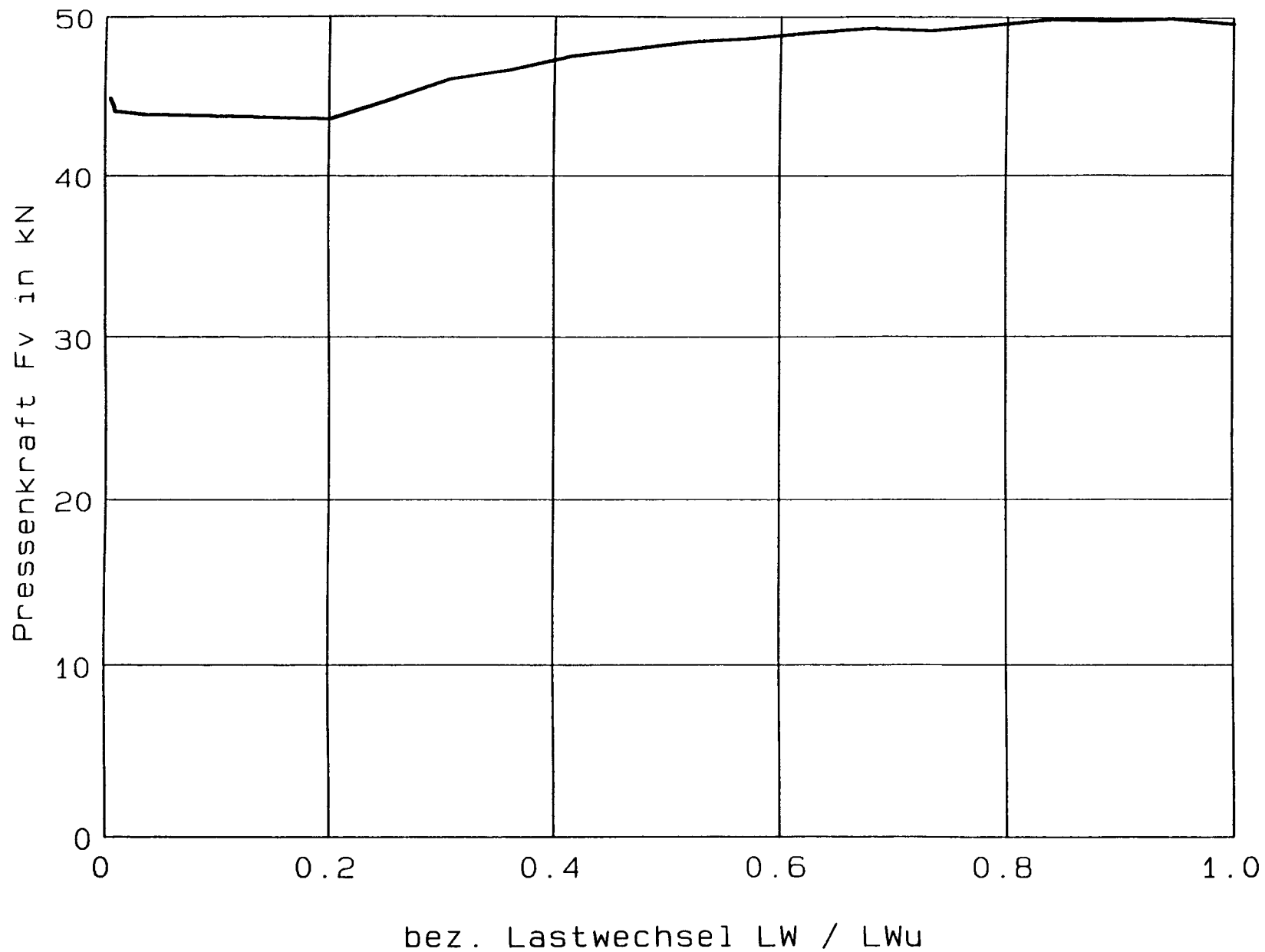


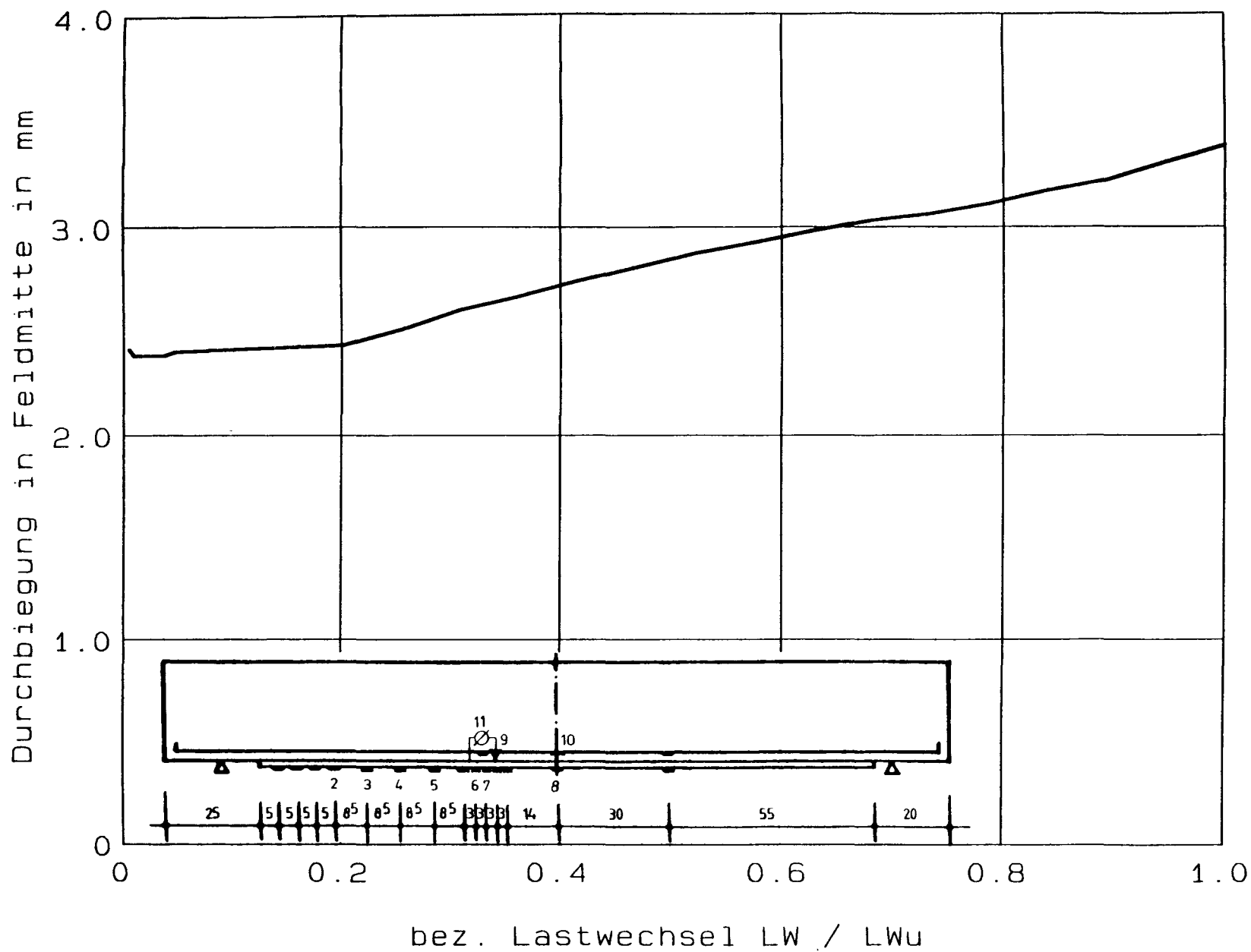
Versuch DYN15: Stahl- und Laschendeformation - Lastwechsel

**Versuch DYN15: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel**

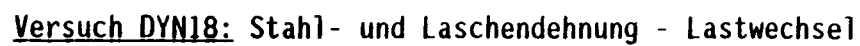


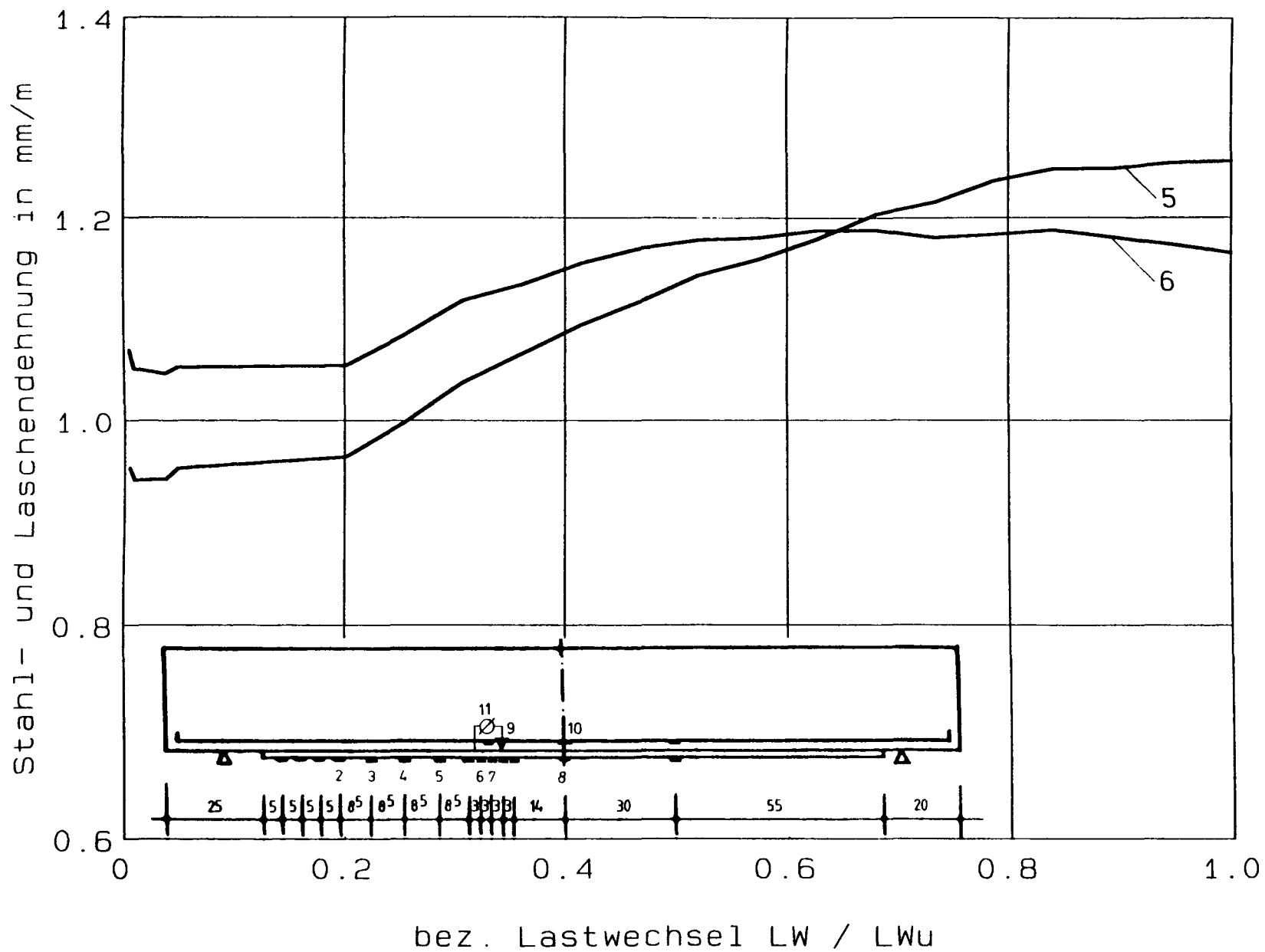
Versuch DYN15: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel

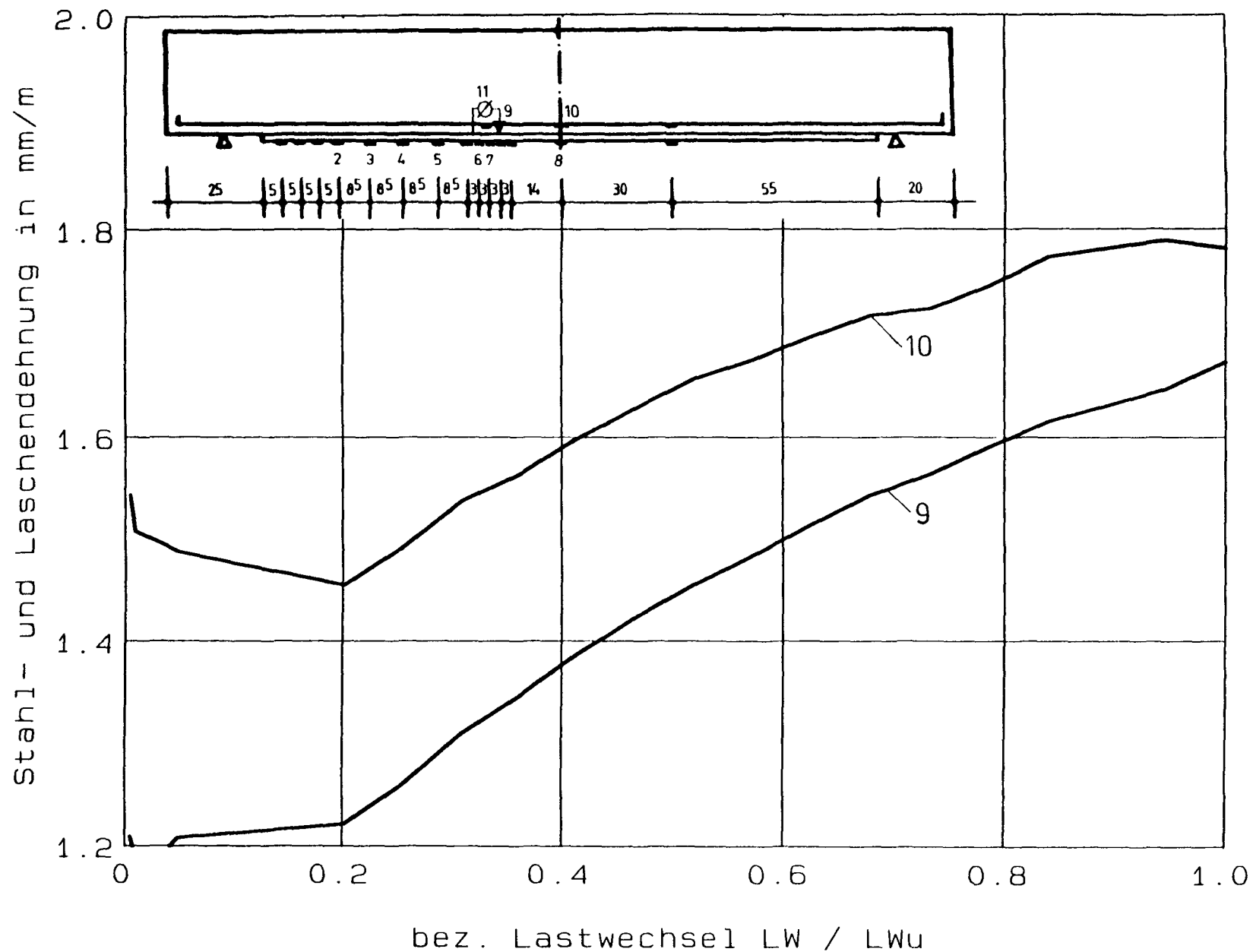
**Versuch DYN18: Pressenkraft - Lastwechsel**

**Versuch DYN18: Durchbiegung - Lastwechsel**

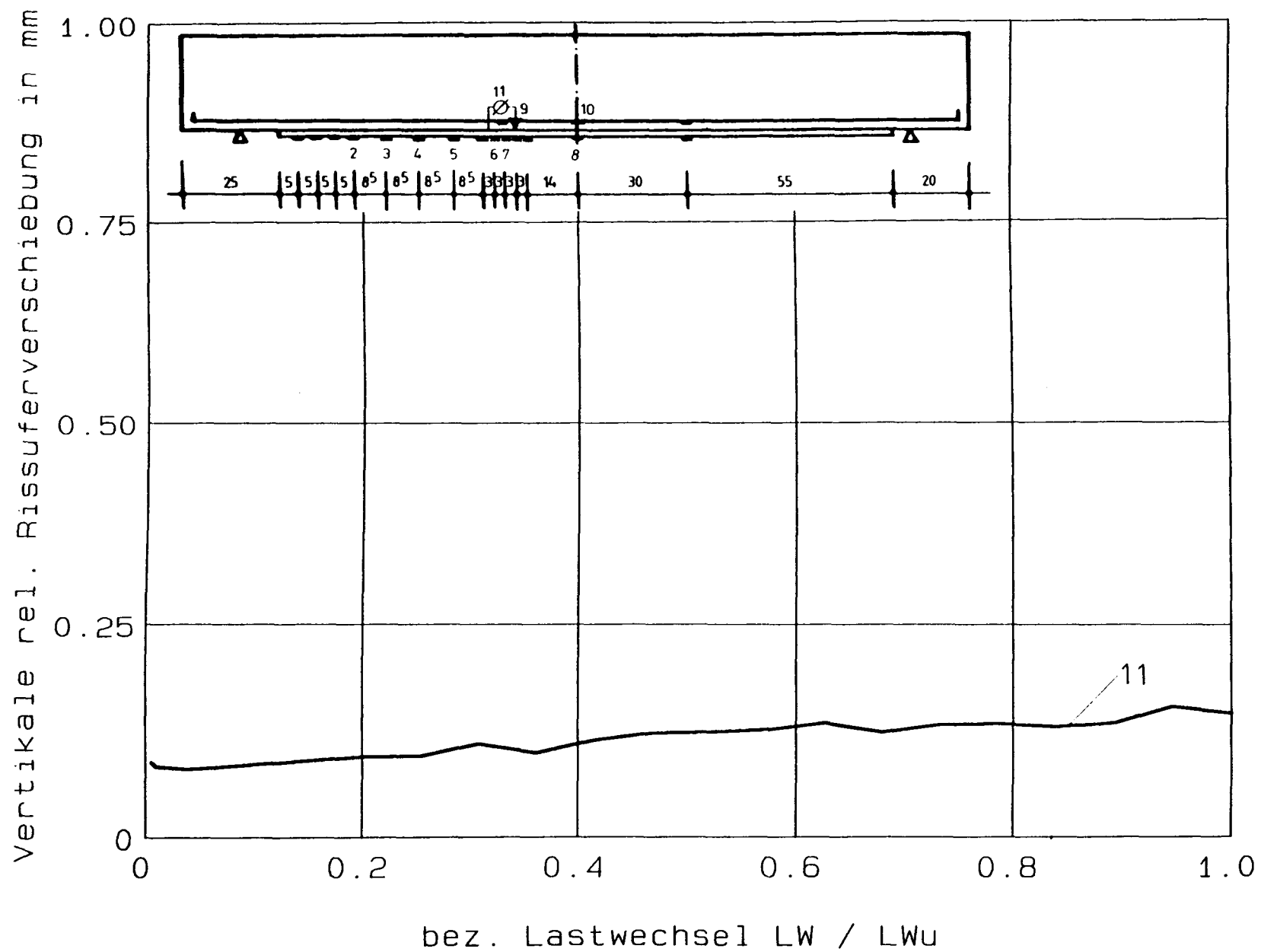




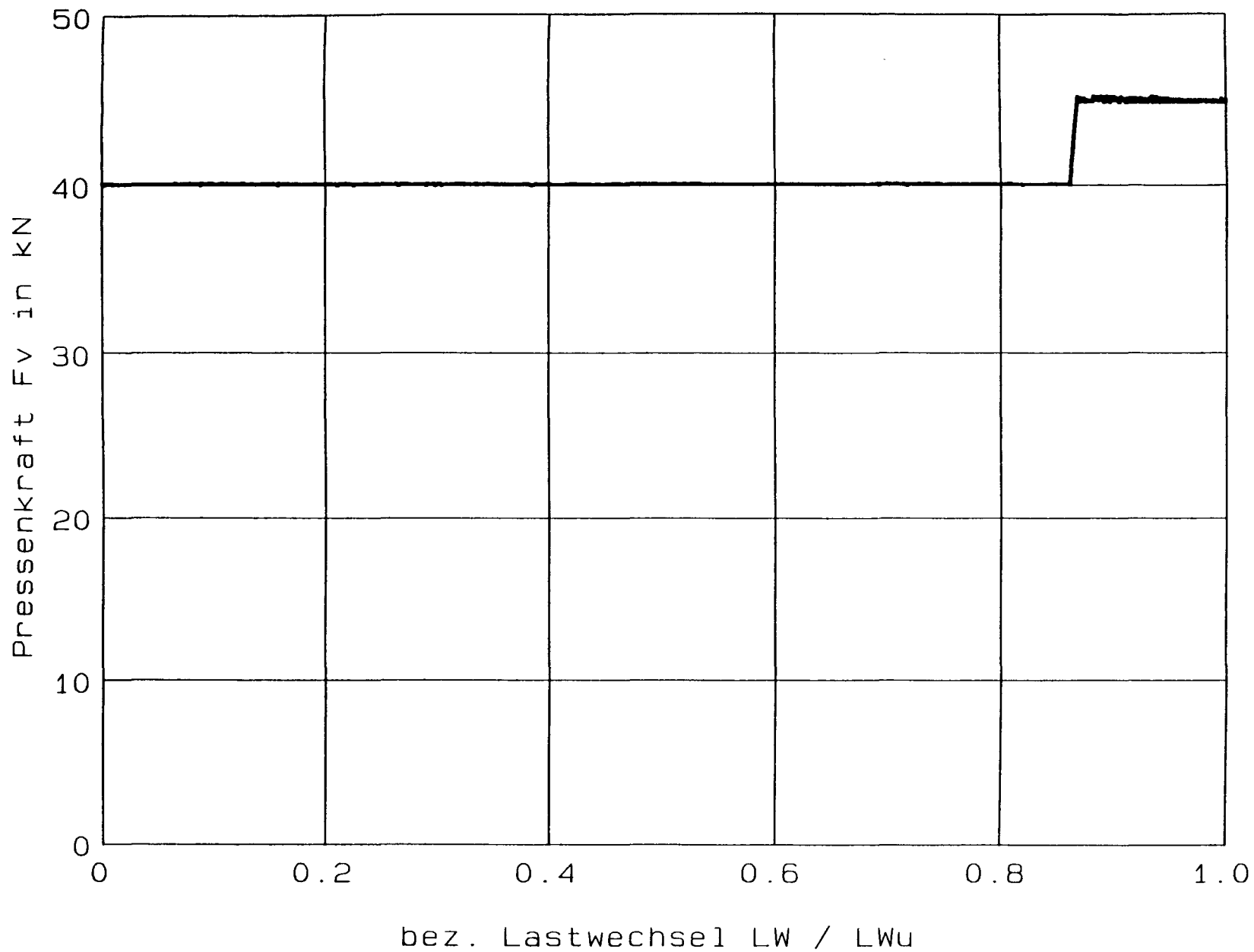
**Versuch DYN18: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel**



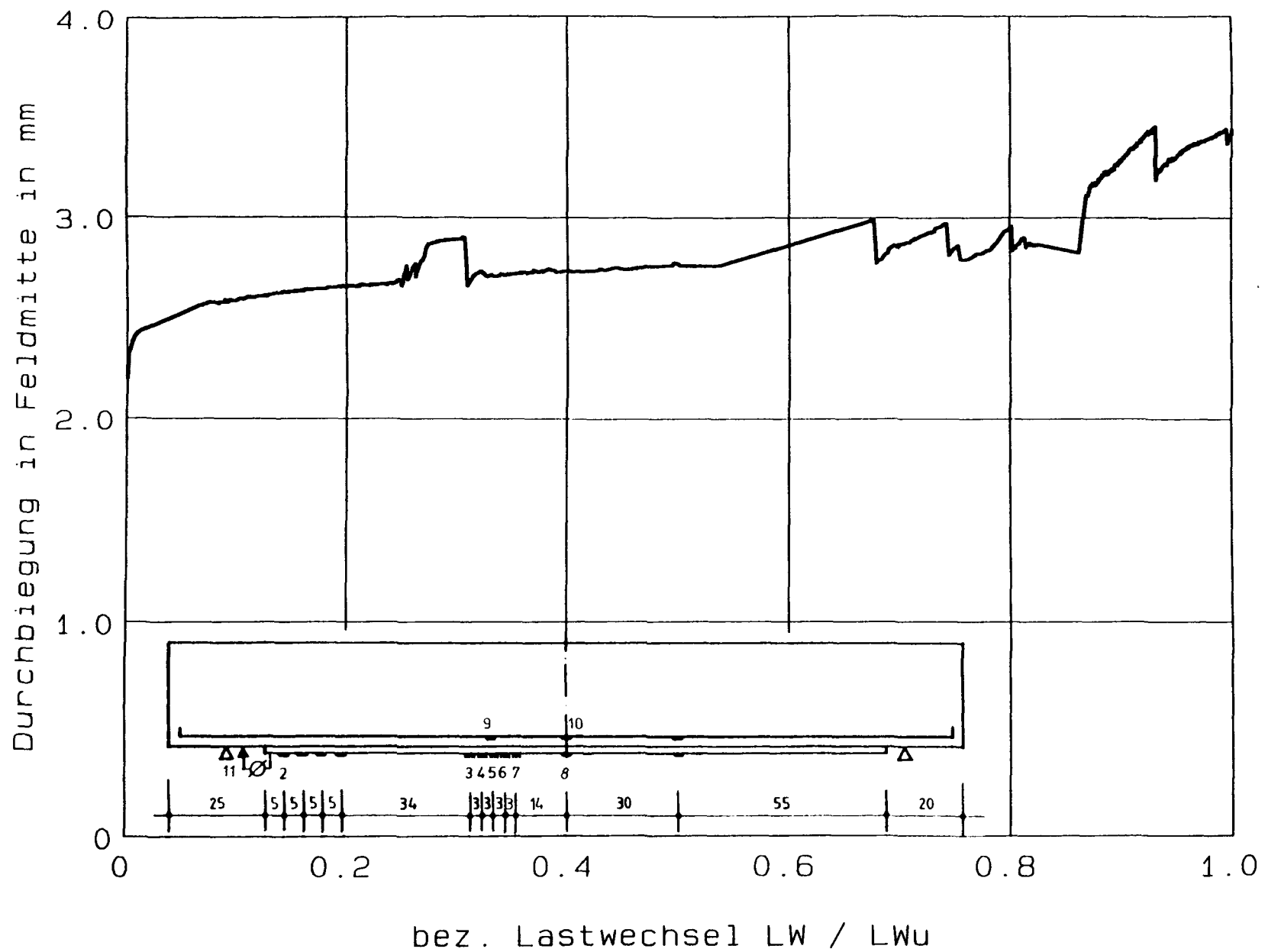
Versuch DYN18: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel

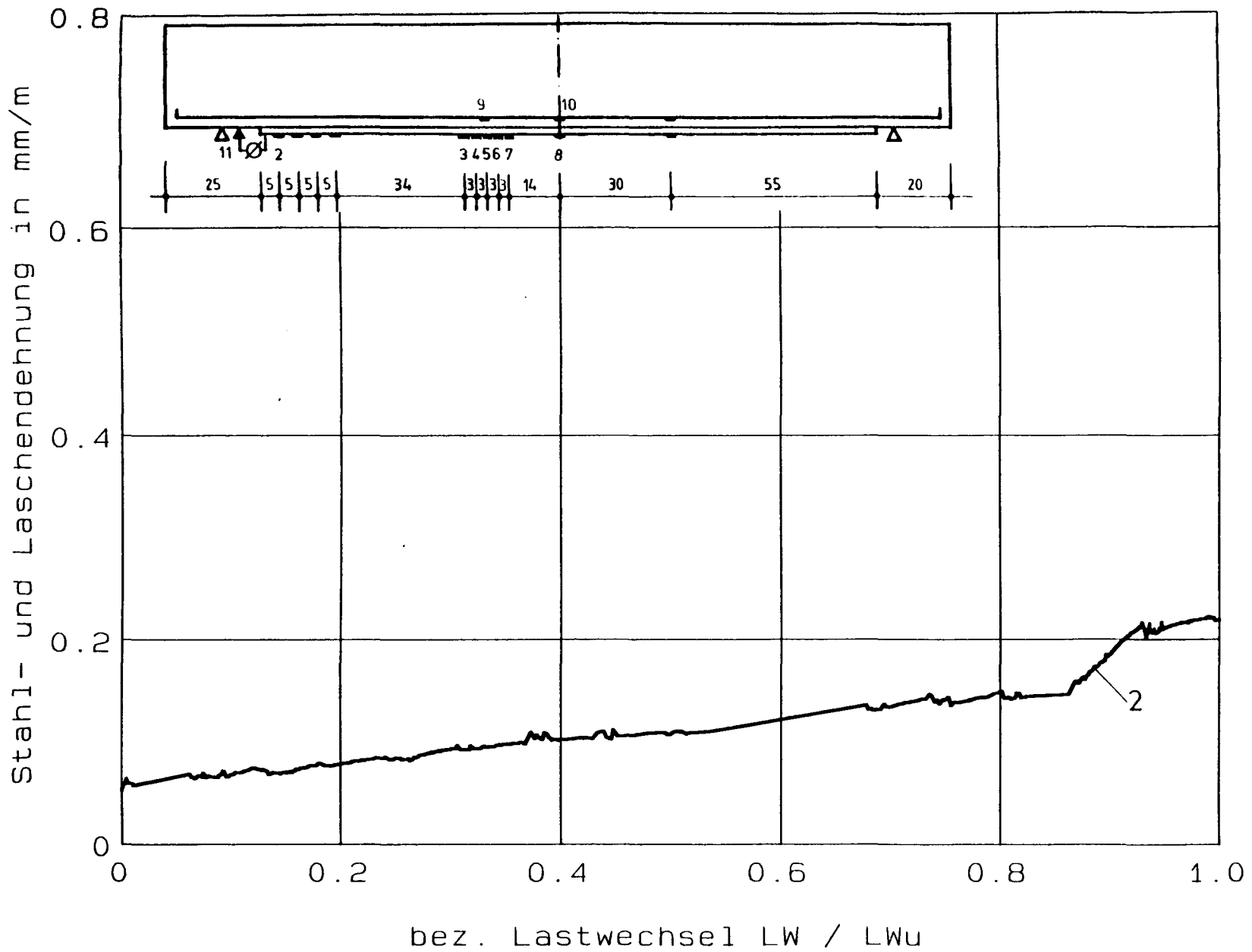


Versuch DYN18: vertikale rel. Rißuferverschiebung - Lastwechsel

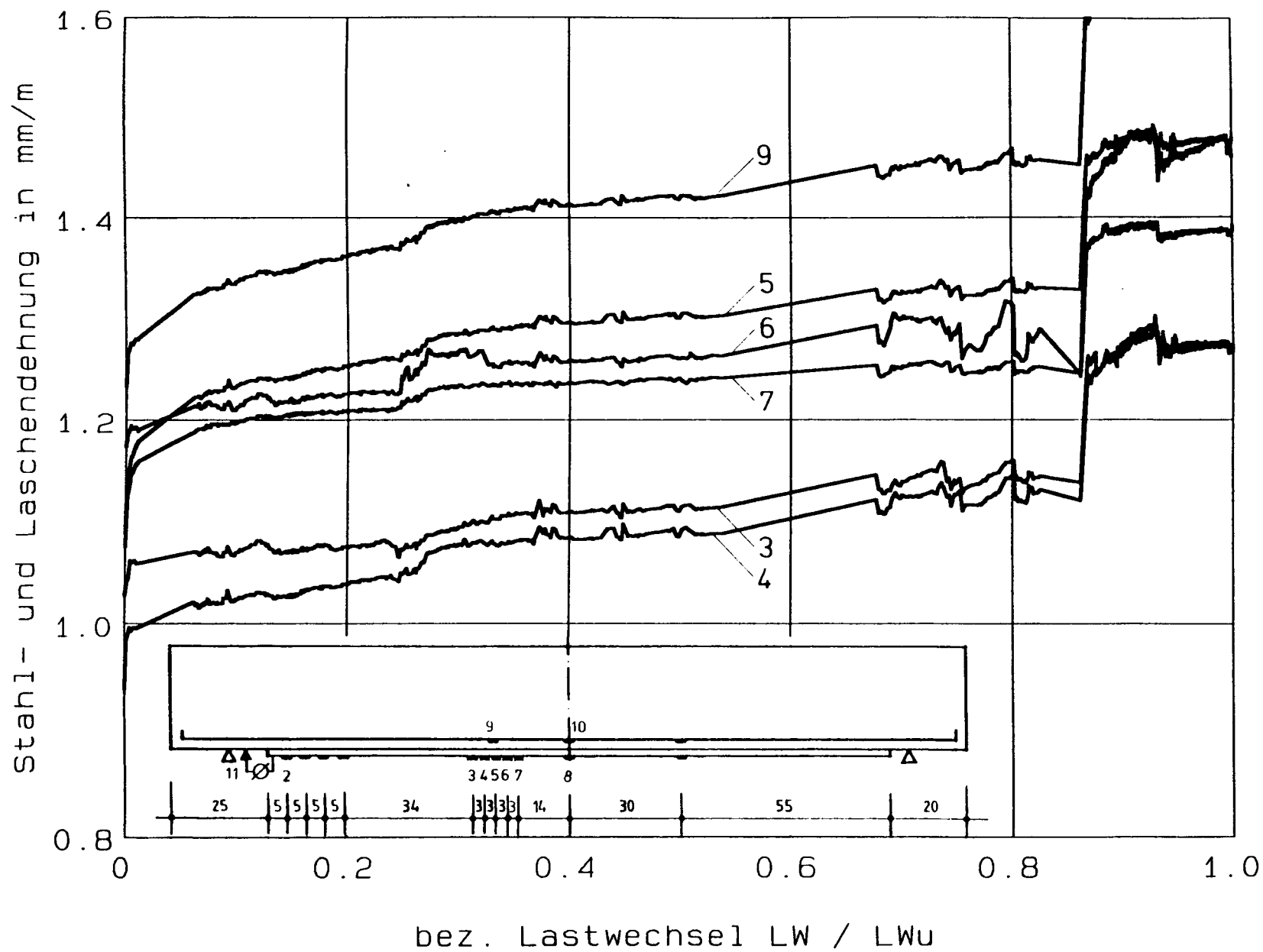


Versuch DYN20: Pressenkraft - Lastwechsel

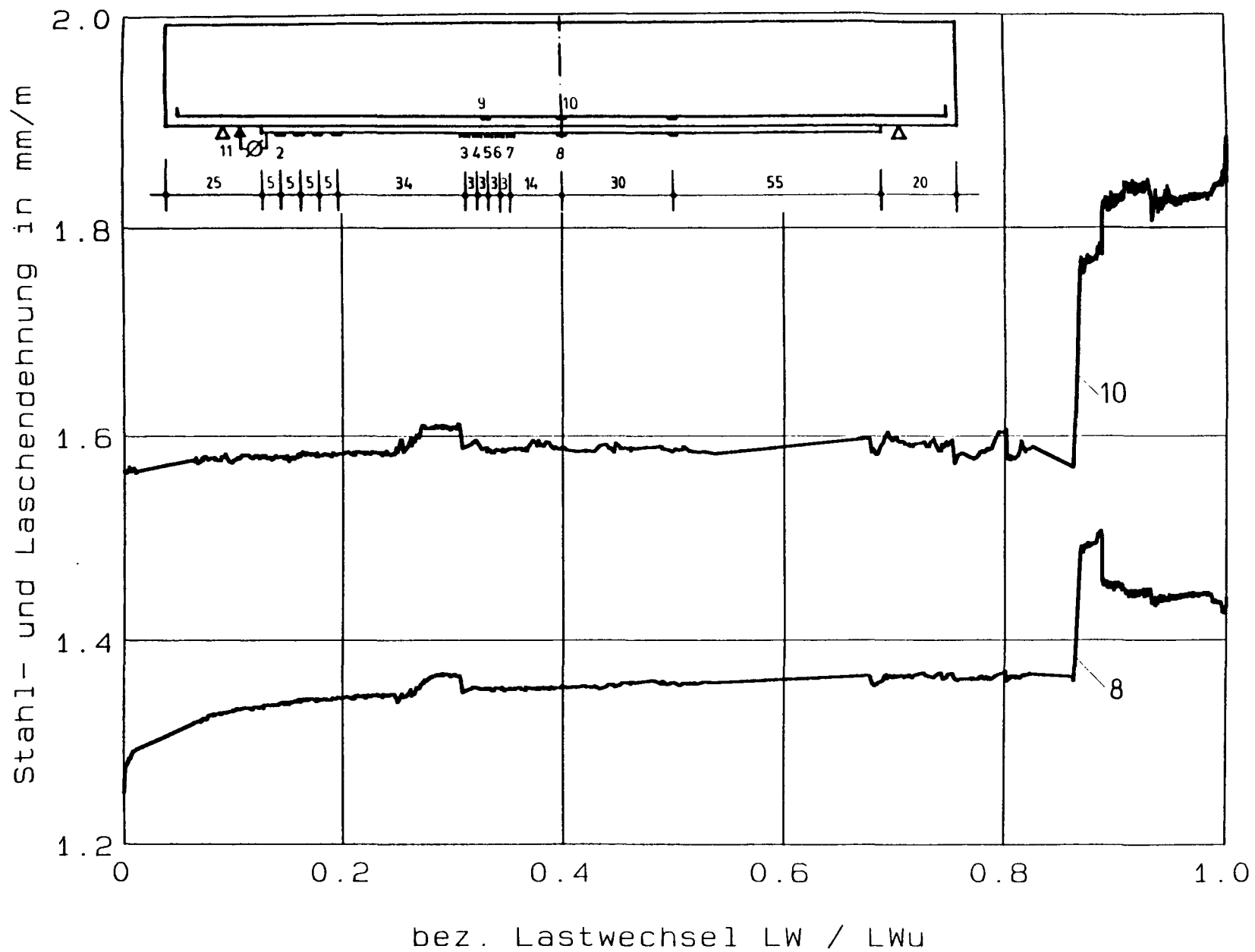
**Versuch DYN20: Durchbiegung - Lastwechsel**



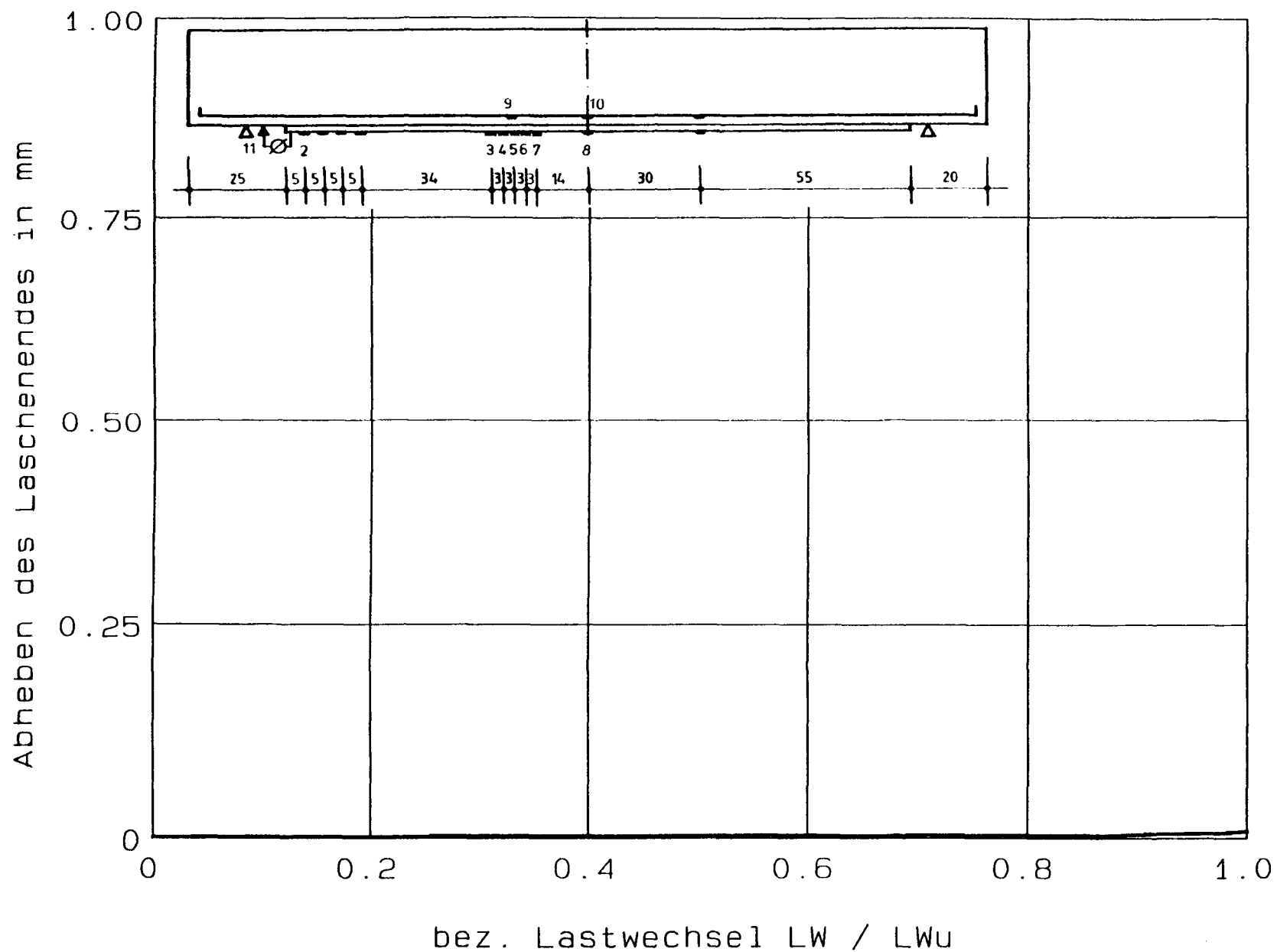
Versuch DYN20: Stahl- und Laschendeformation - Lastwechsel



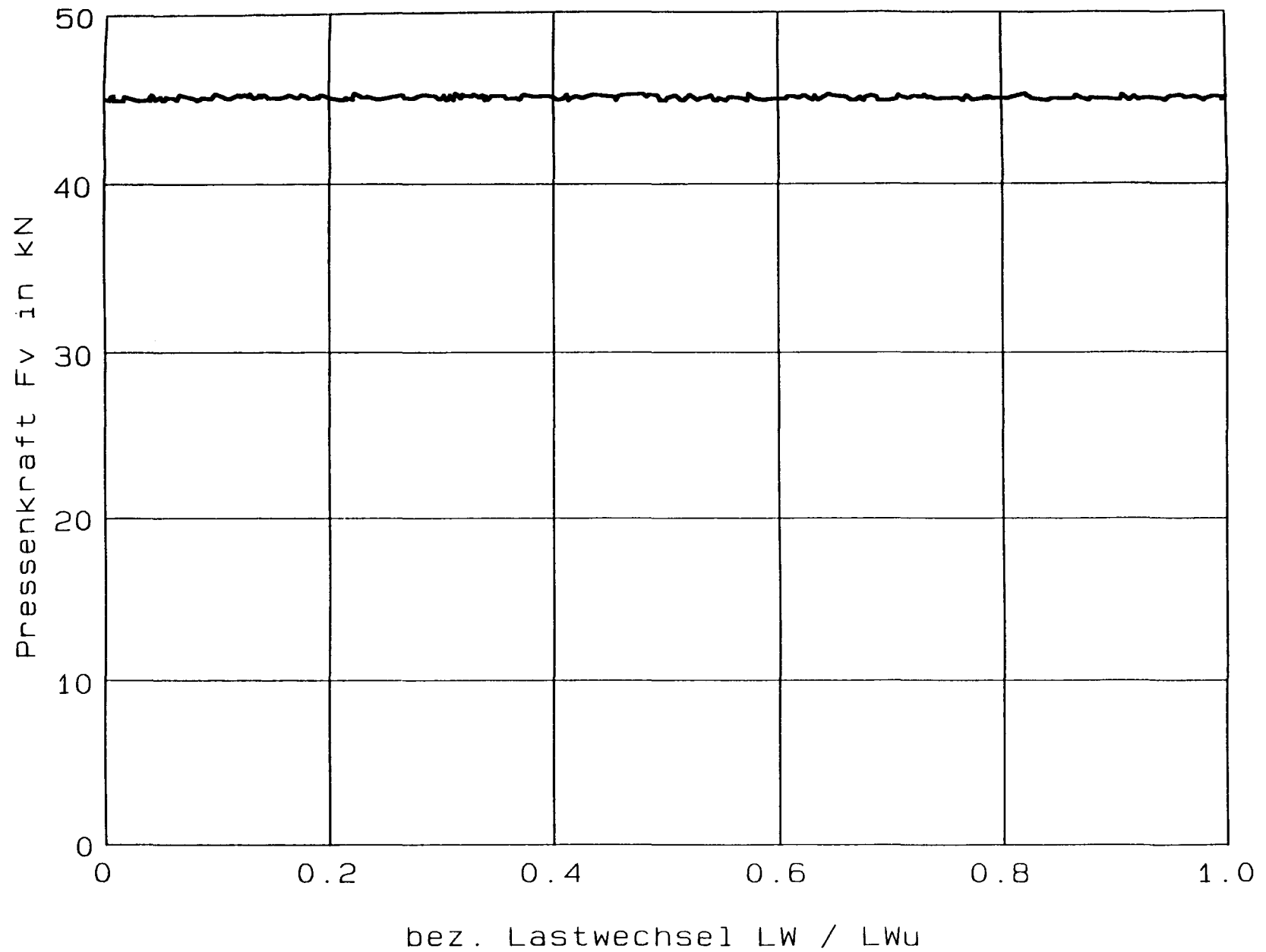
Versuch DYN20: Stahl- und Laschendeformation - Lastwechsel



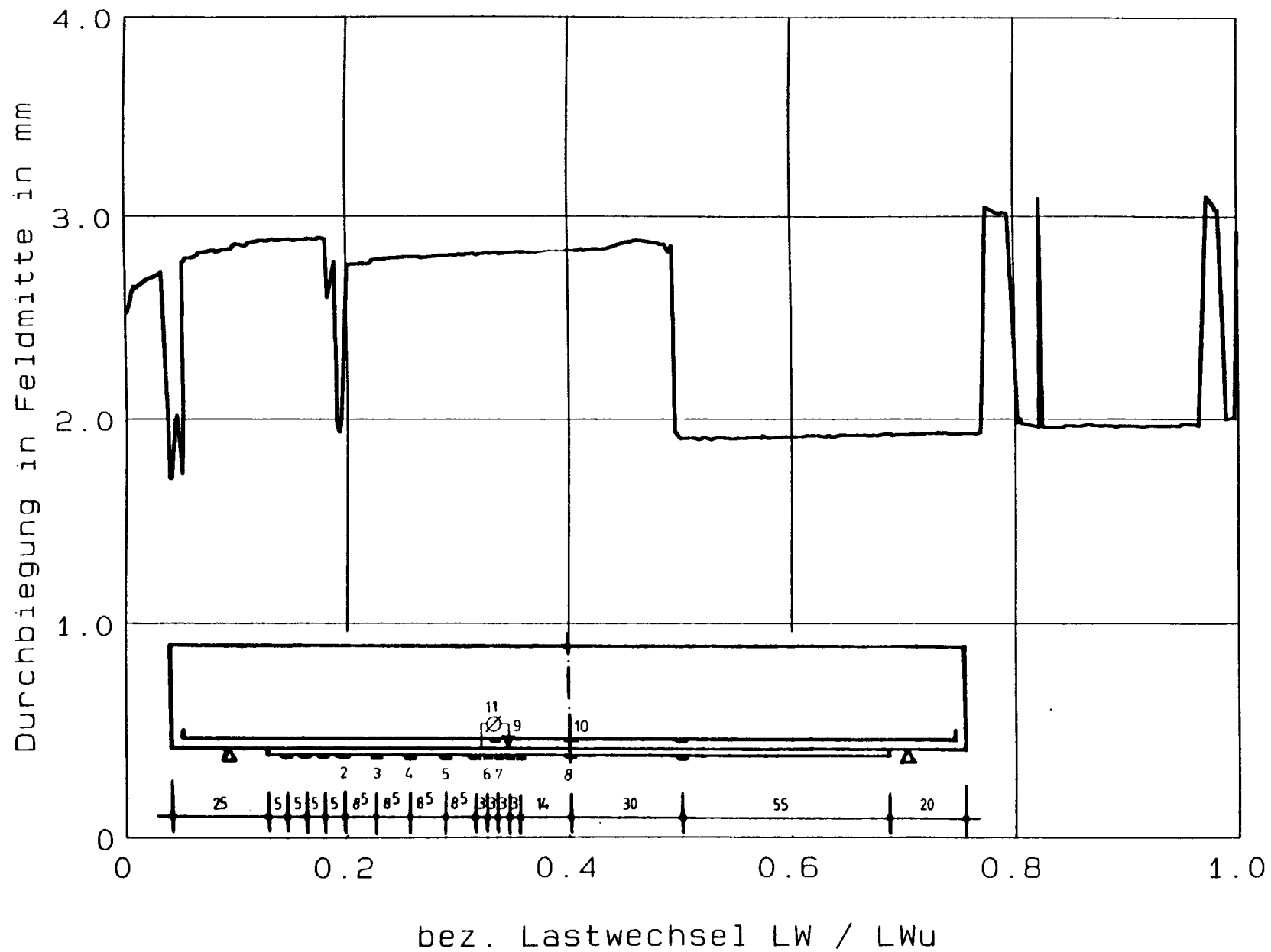
Versuch DYN20: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

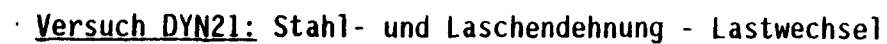


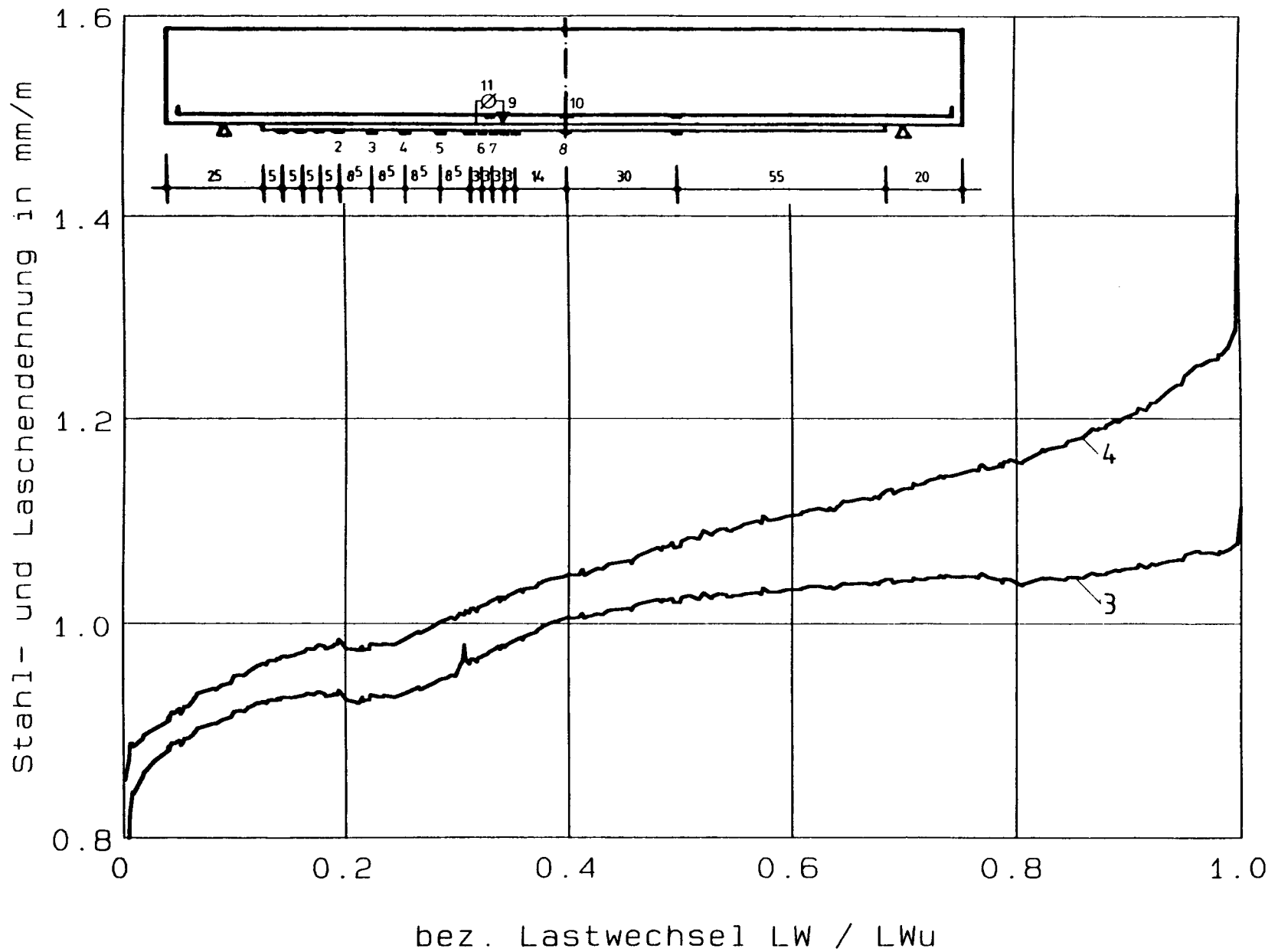
Versuch DYN20: Abheben des Laschenendes - Lastwechsel



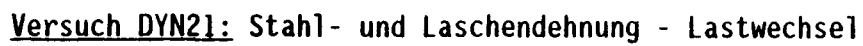
Versuch DYN21: Pressenkraft - Lastwechsel

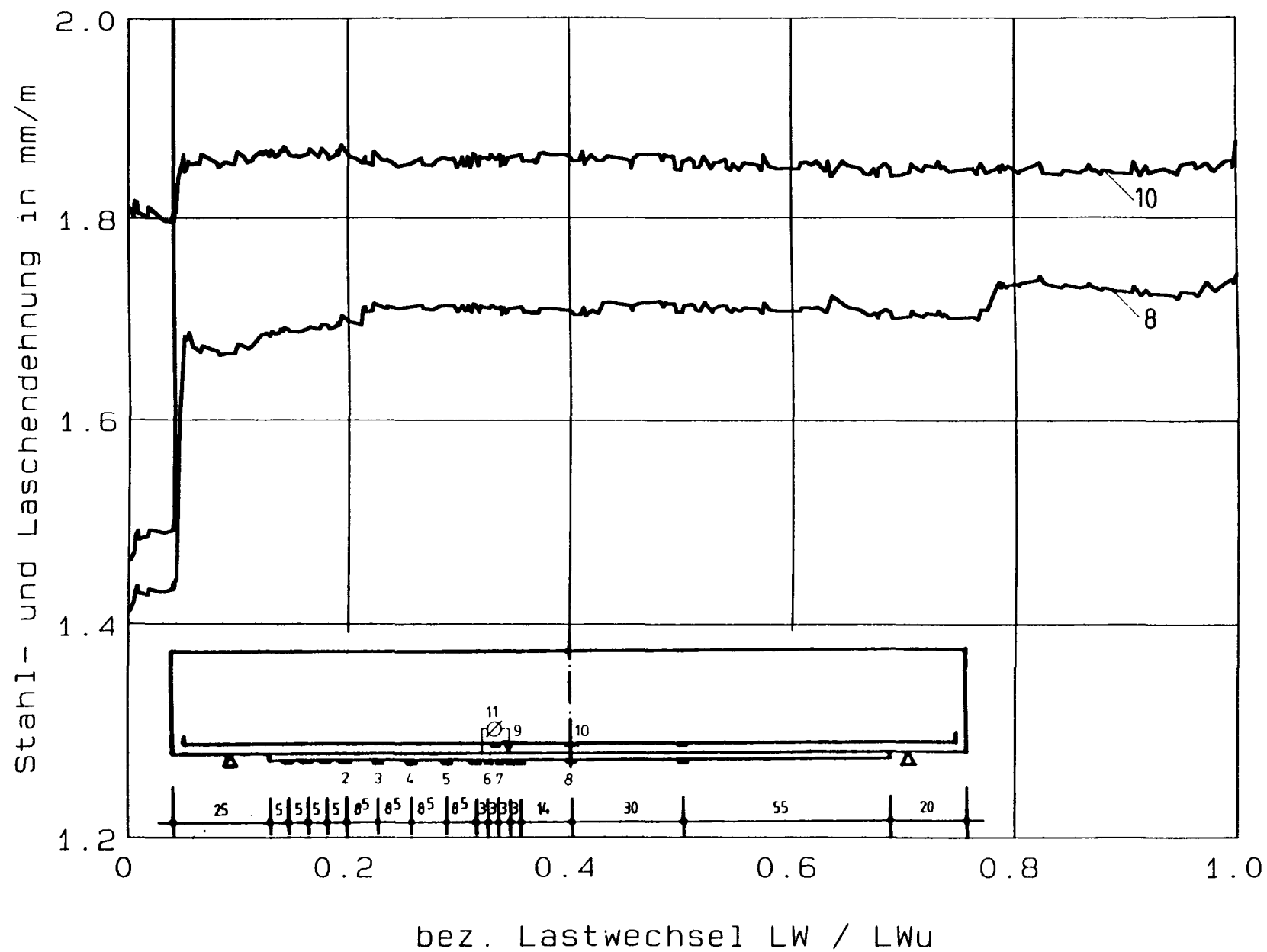
**Versuch DYN21: Durchbiegung - Lastwechsel**

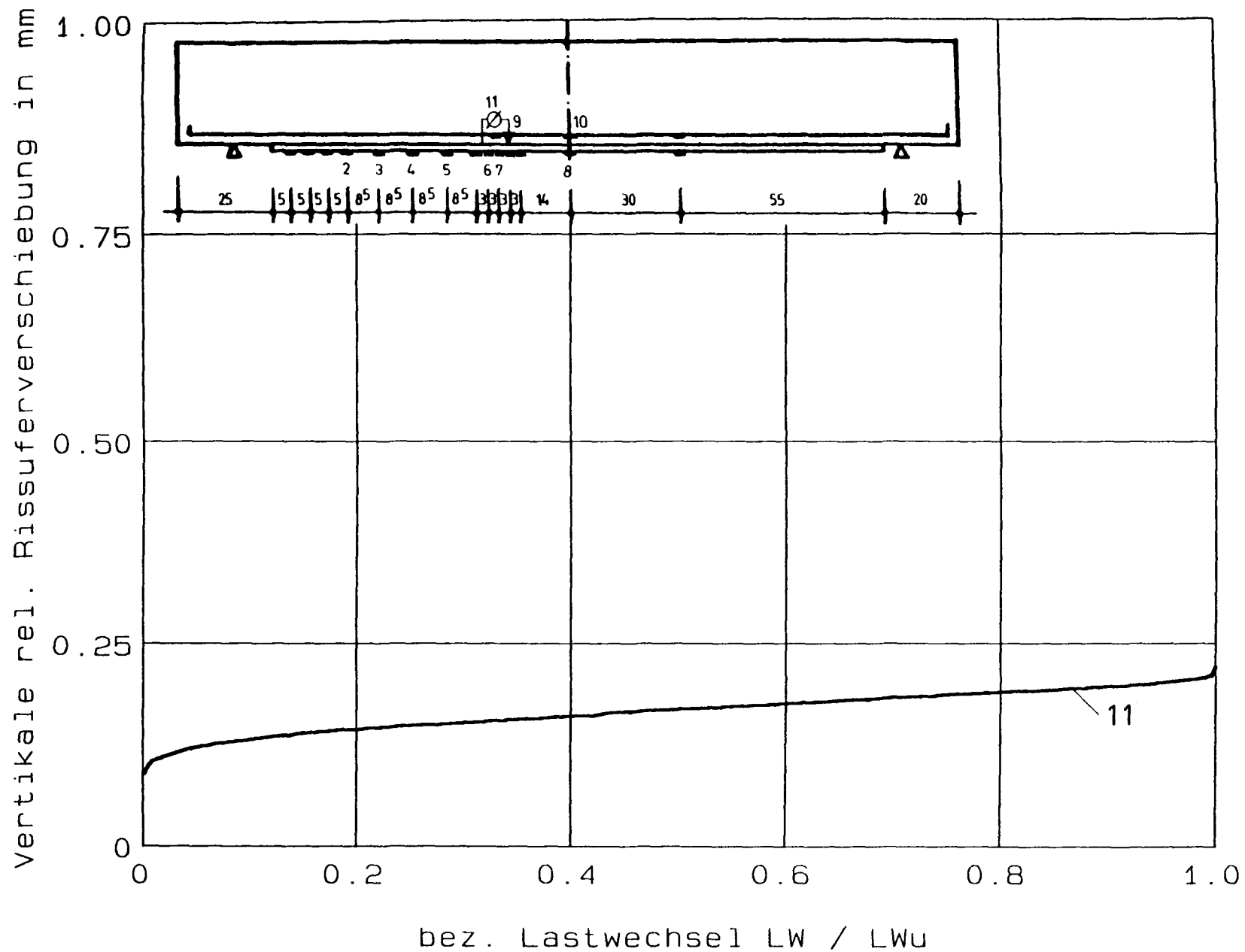




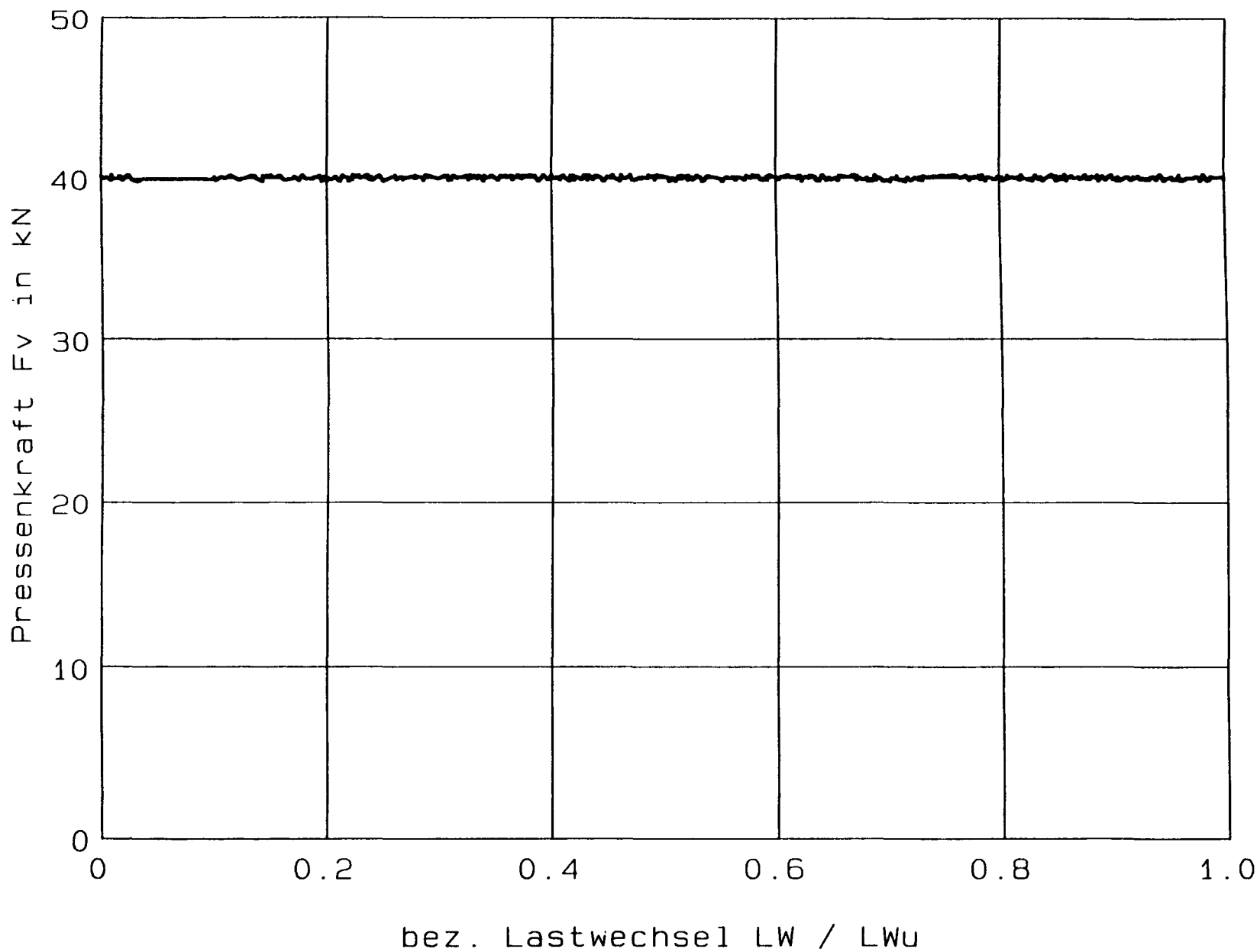
Versuch DYN21: Stahl- und Laschendeformation - Lastwechsel

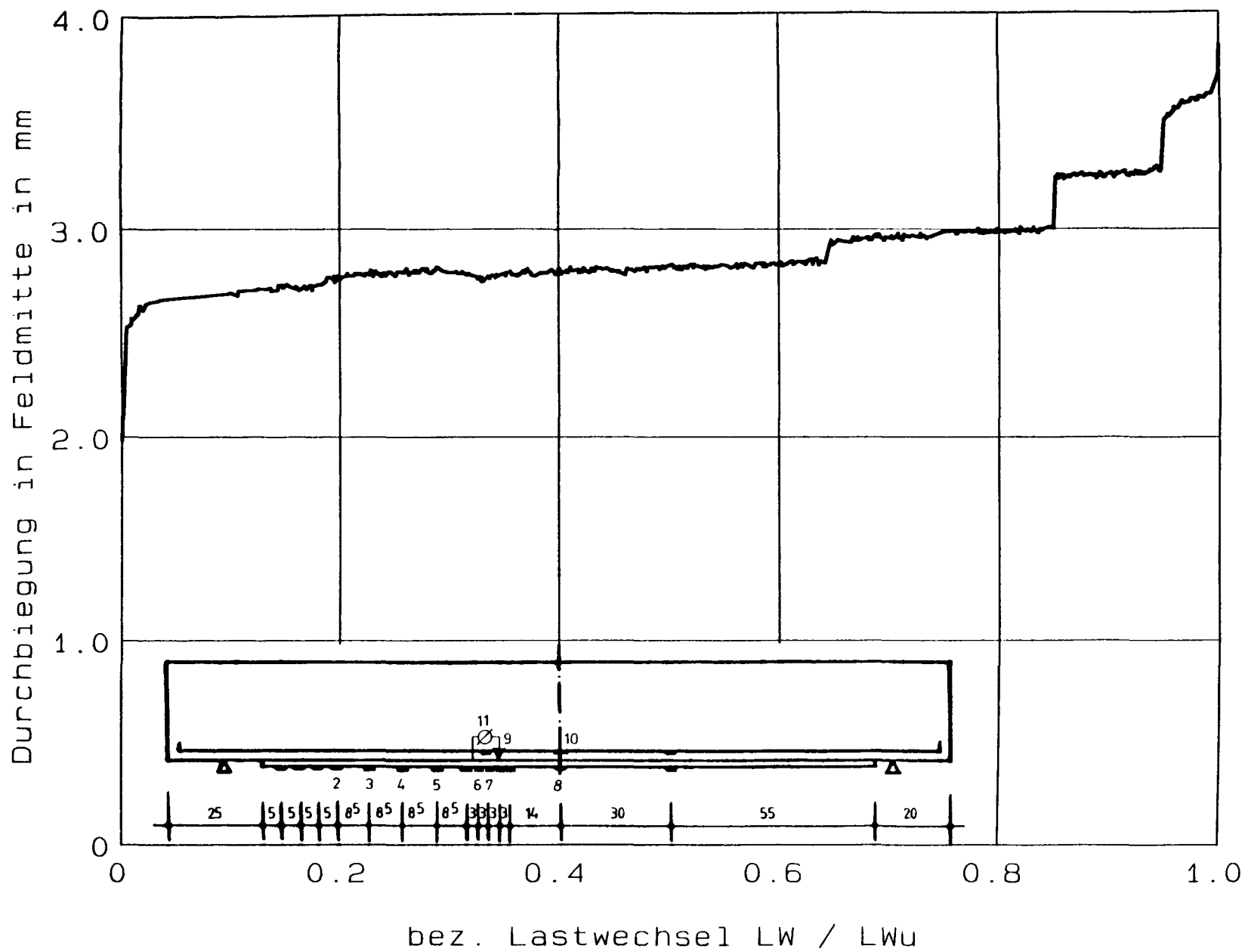


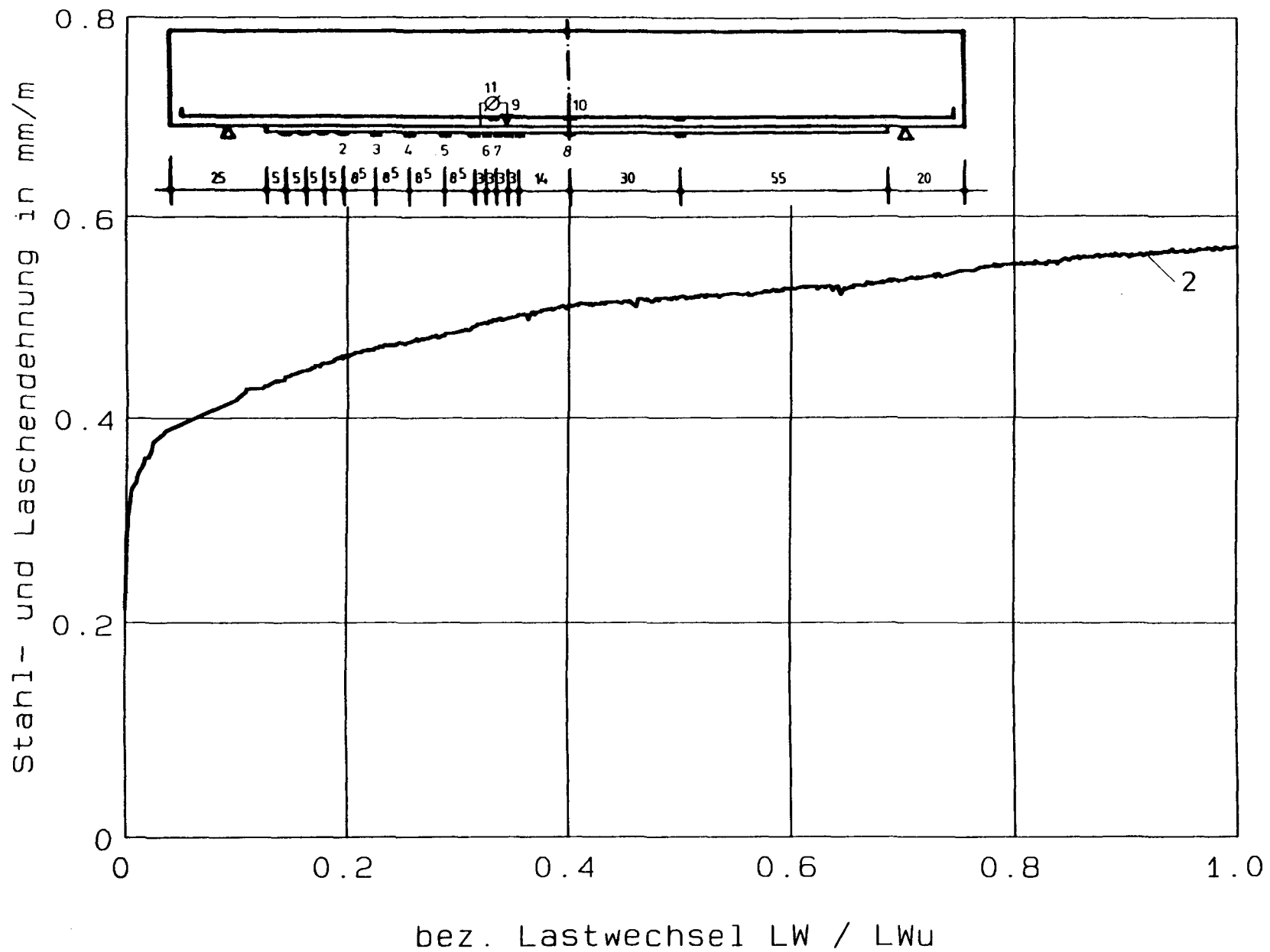
**Versuch DYN21: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel**



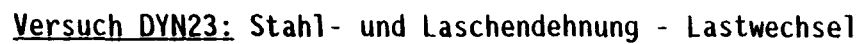
Versuch DYN21: vertikale rel. Rißufernverschiebung - Lastwechsel

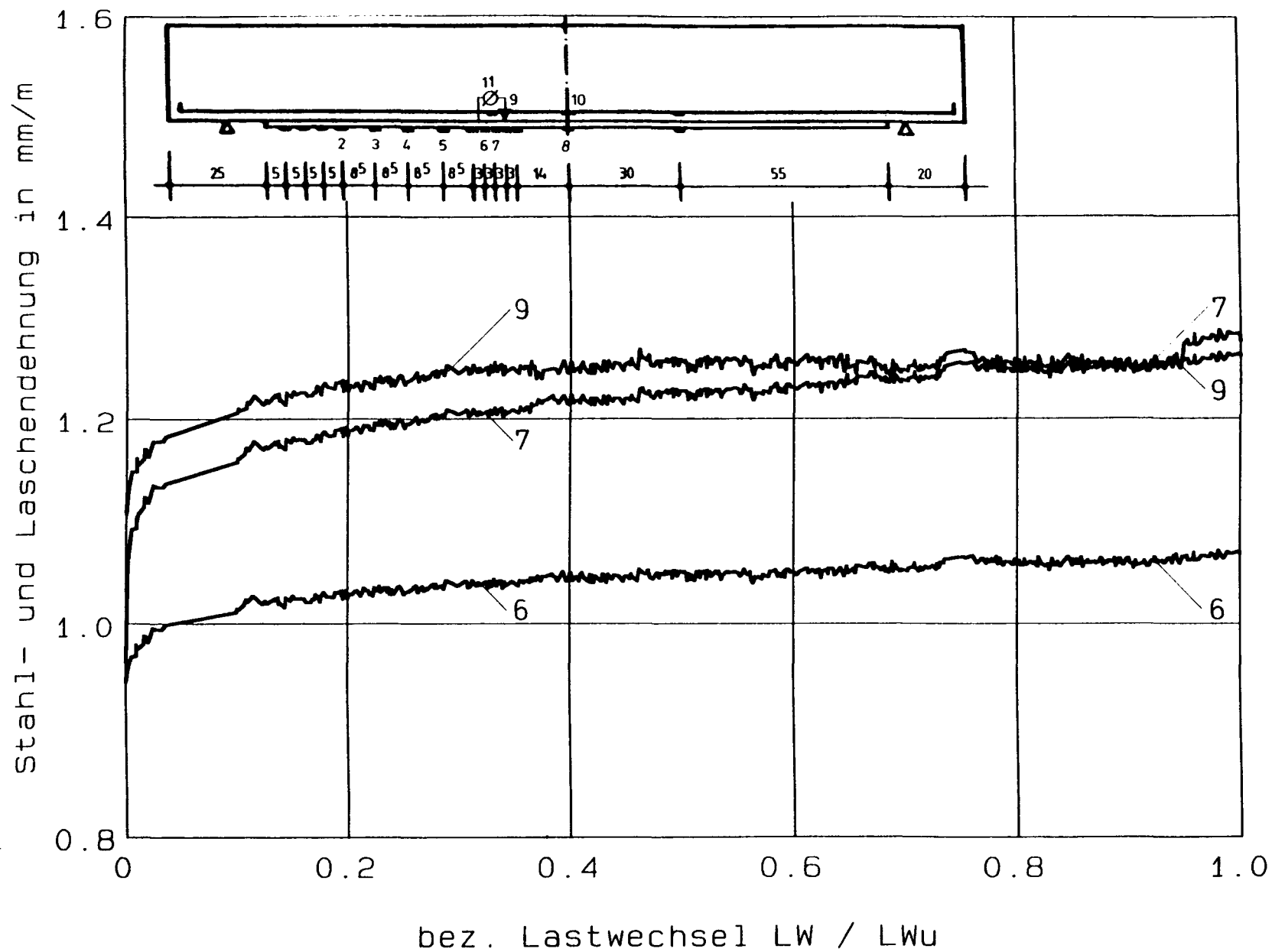
**Versuch DYN23: Pressenkraft - Lastwechsel**

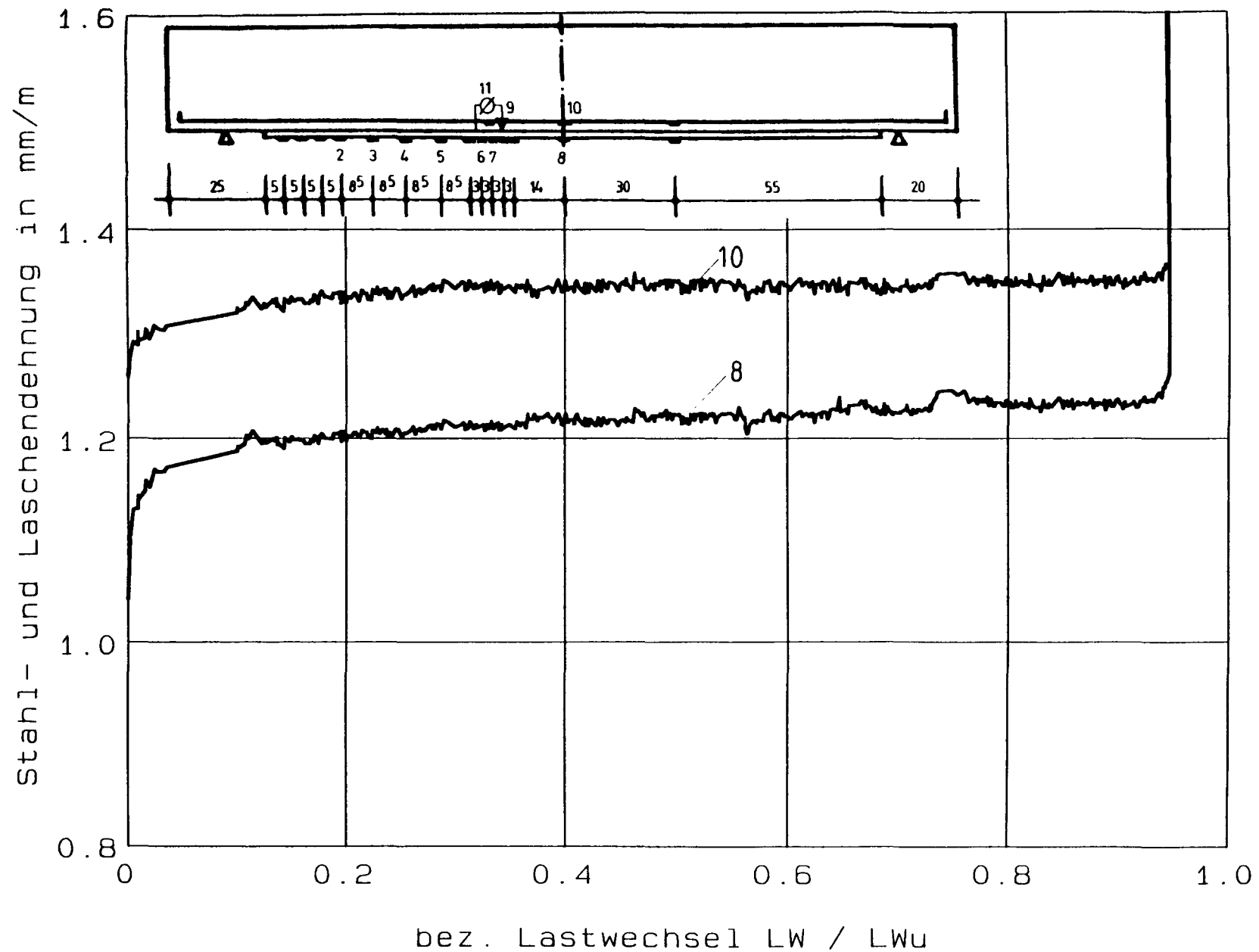
**Versuch DYN23: Durchbiegung - Lastwechsel**

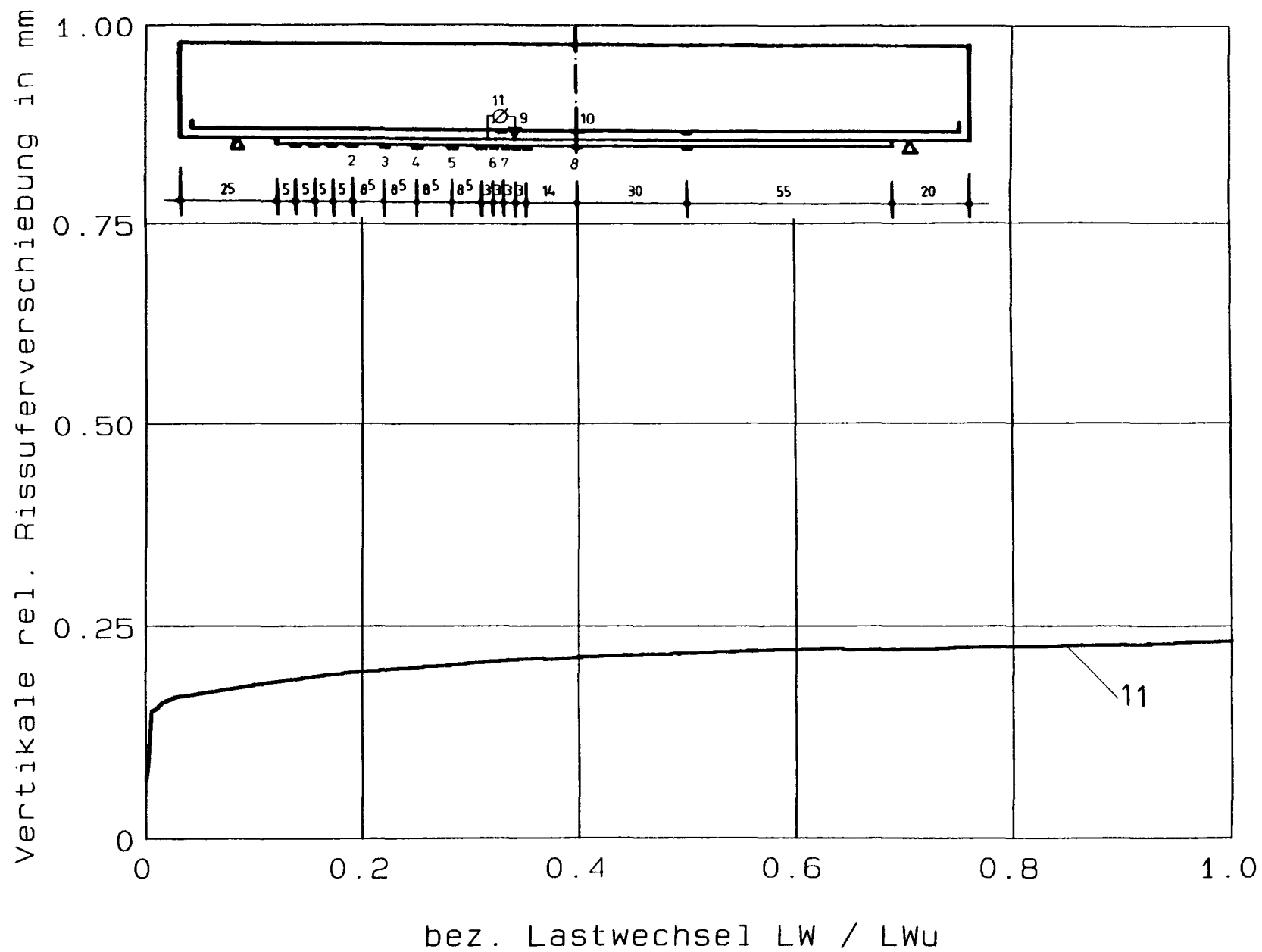


Versuch DYN23: Stahl- und Laschendeformation - Lastwechsel

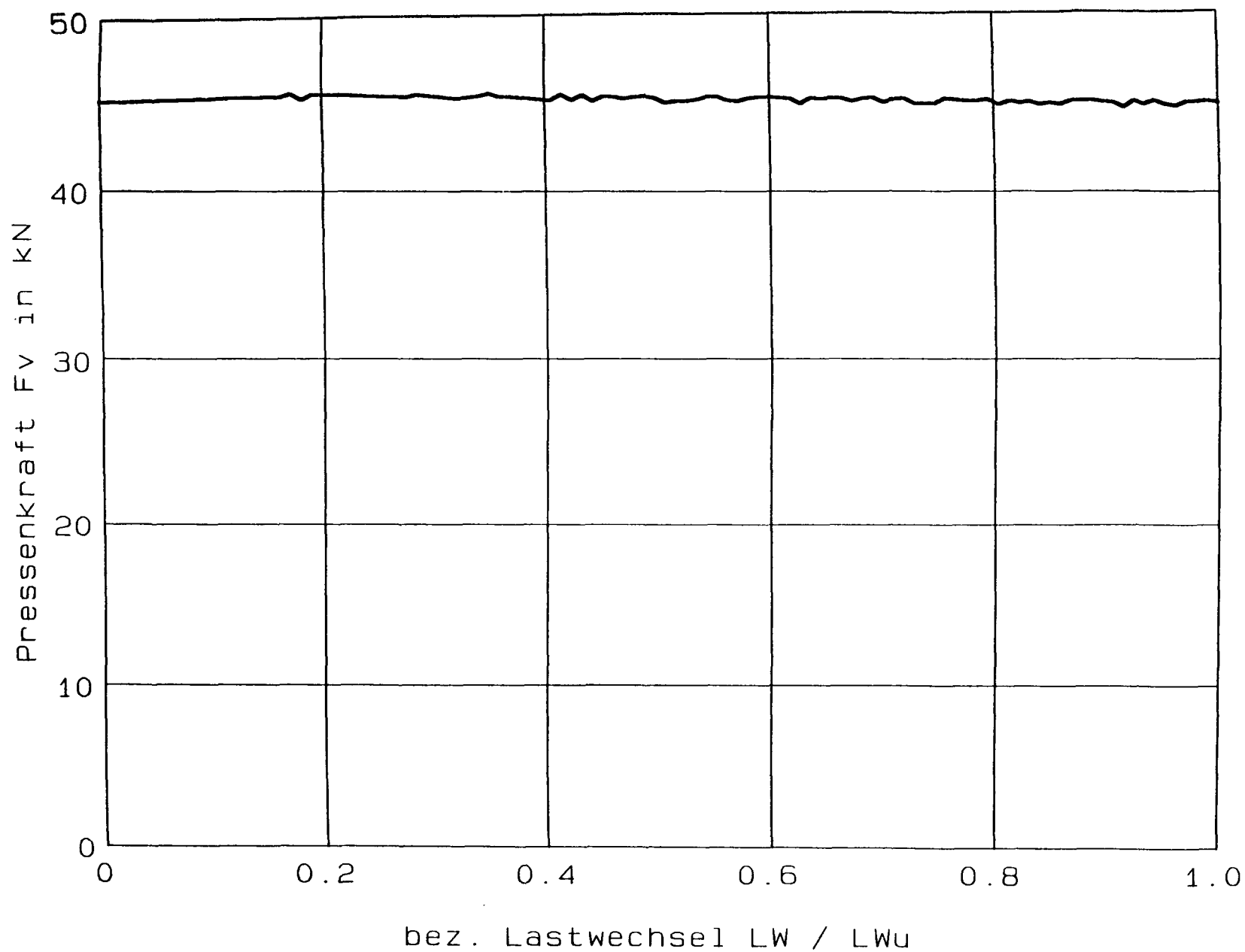


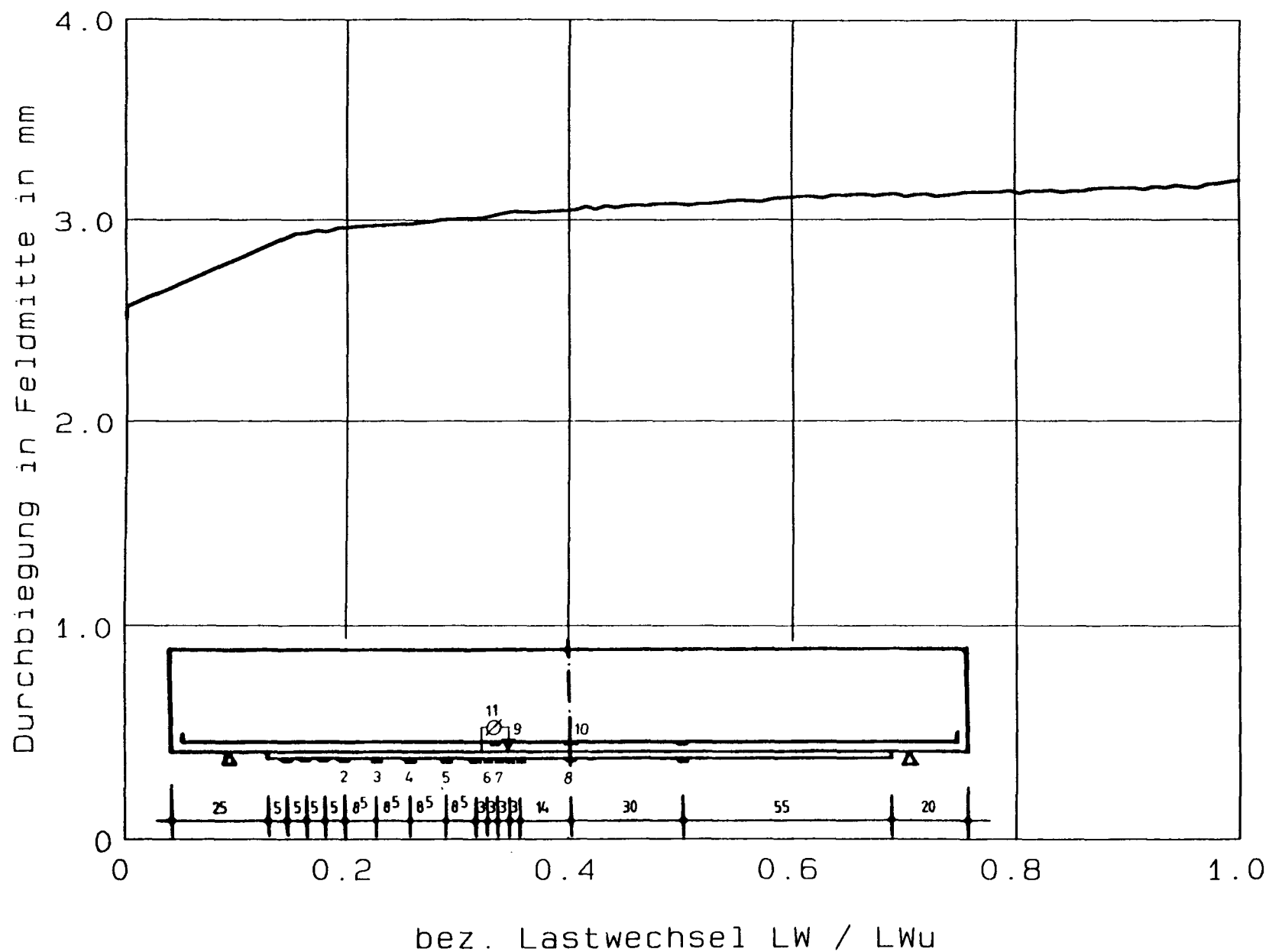
**Versuch DYN23: Stahl- und Laschendeformation - Lastwechsel**

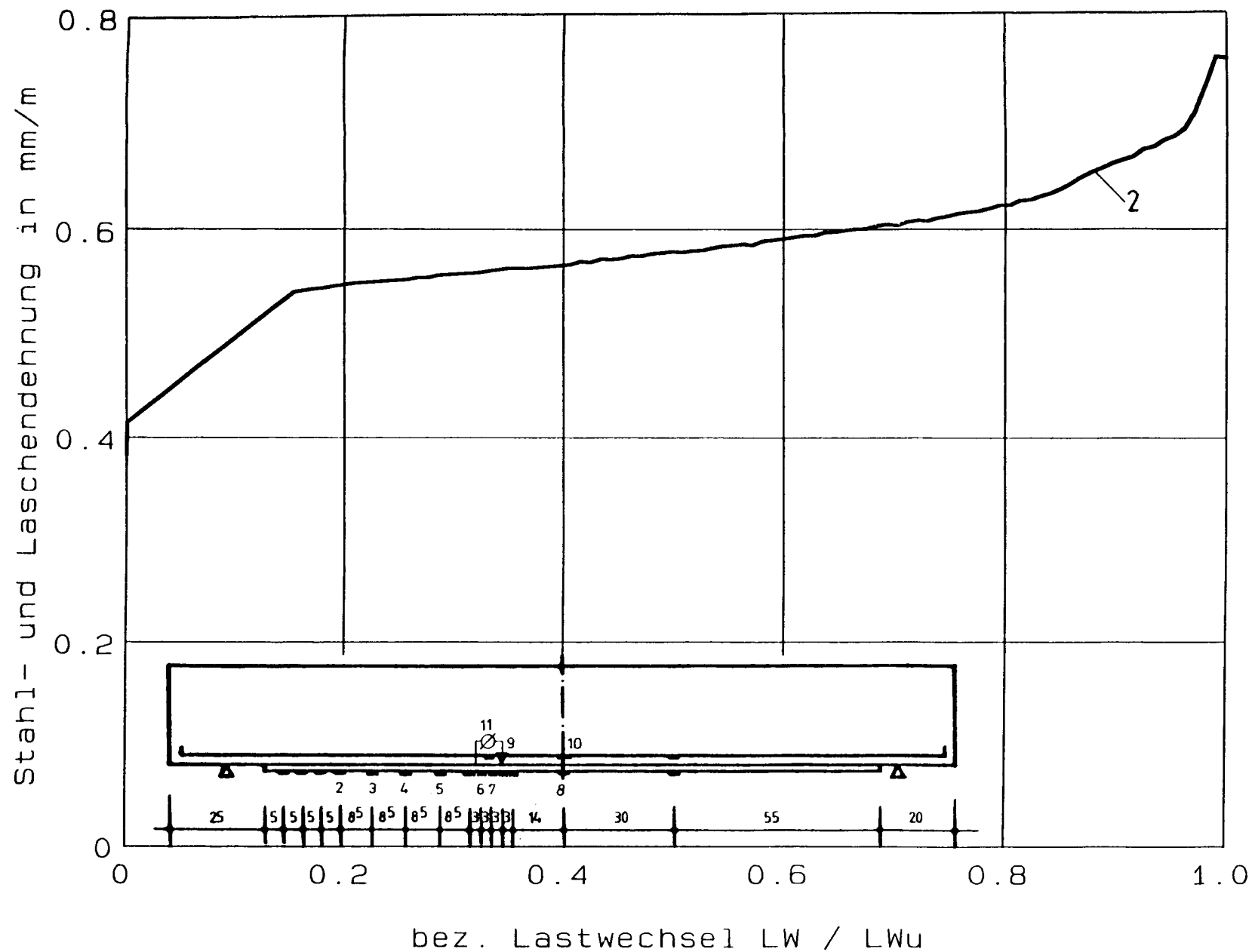
**Versuch DYN23: Stahl- und Laschendeformation - Lastwechsel**



Versuch DYN23: vertikale rel. Rissuverschiebung - Lastwechsel

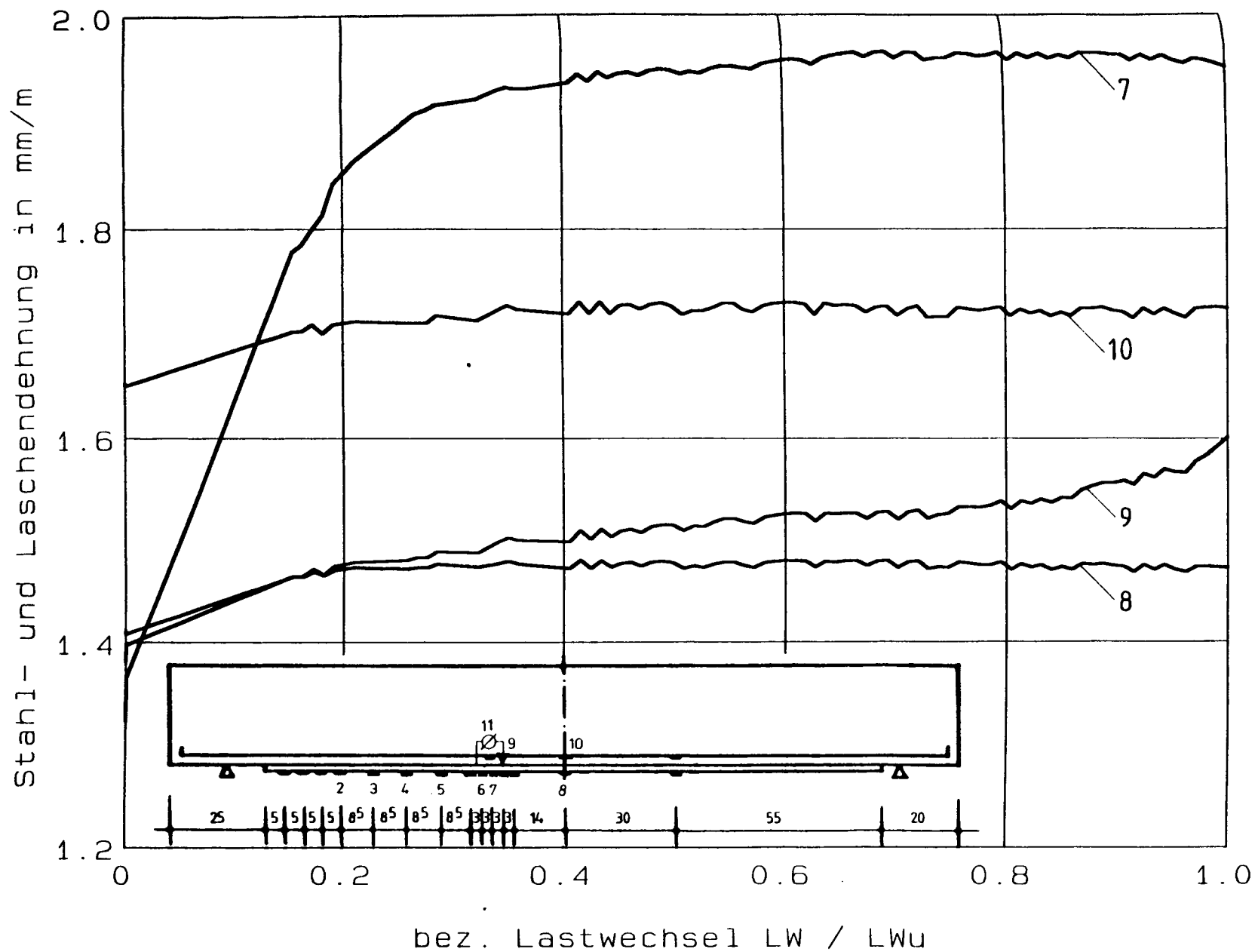
**Versuch DYN25: Pressenkraft - Lastwechsel**

**Versuch DYN25: Durchbiegung - Lastwechsel**

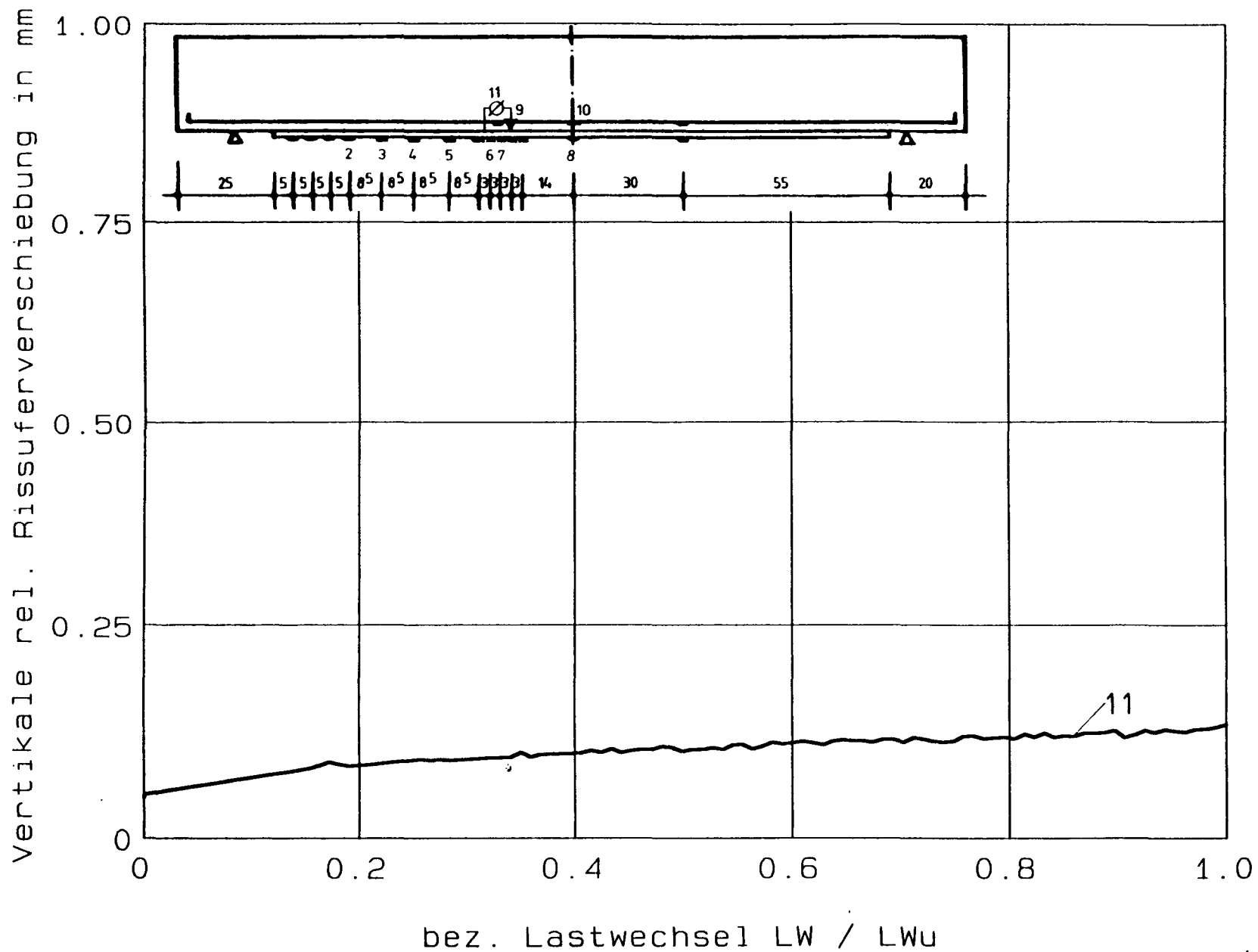


Versuch DYN25: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

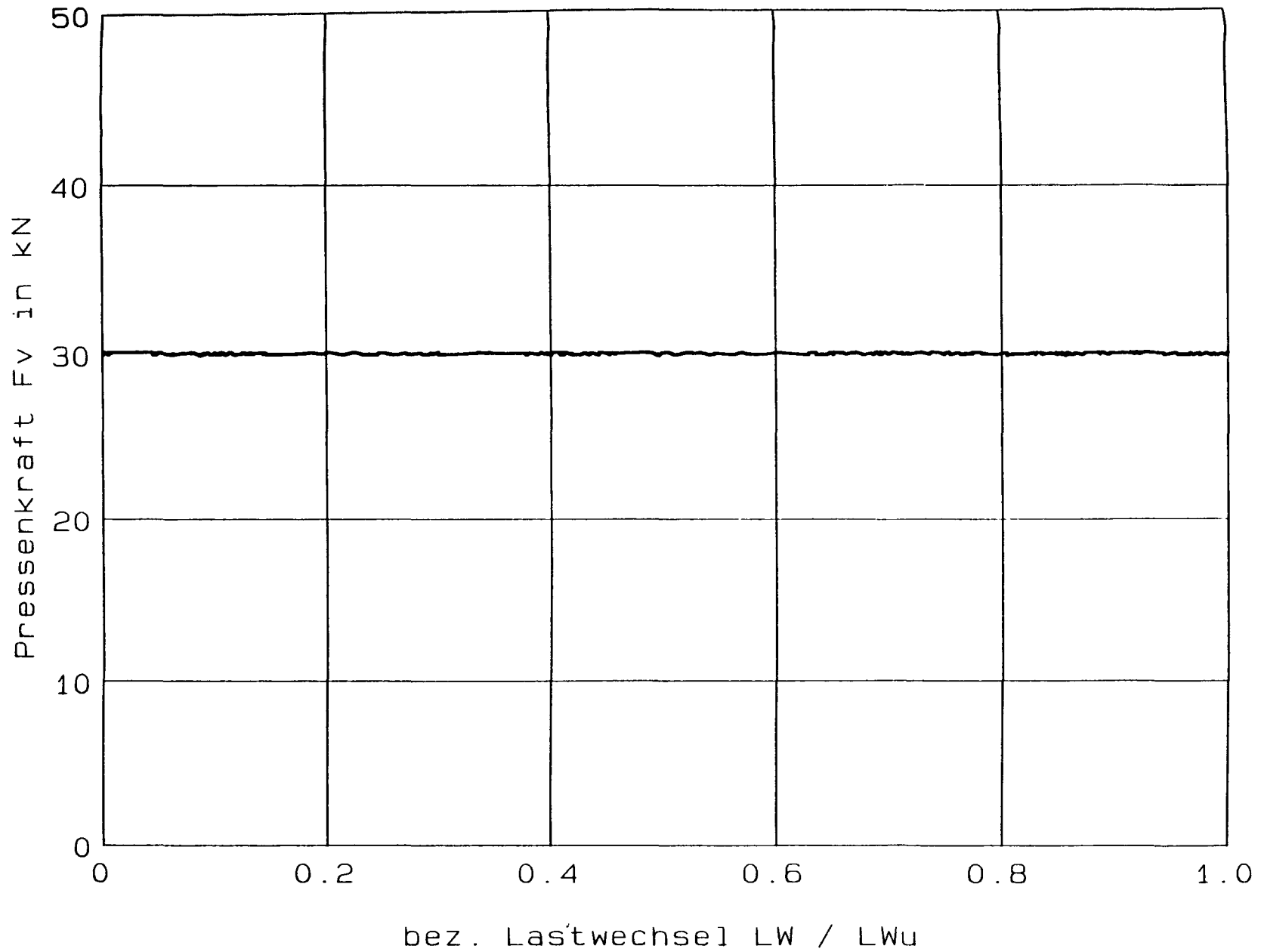




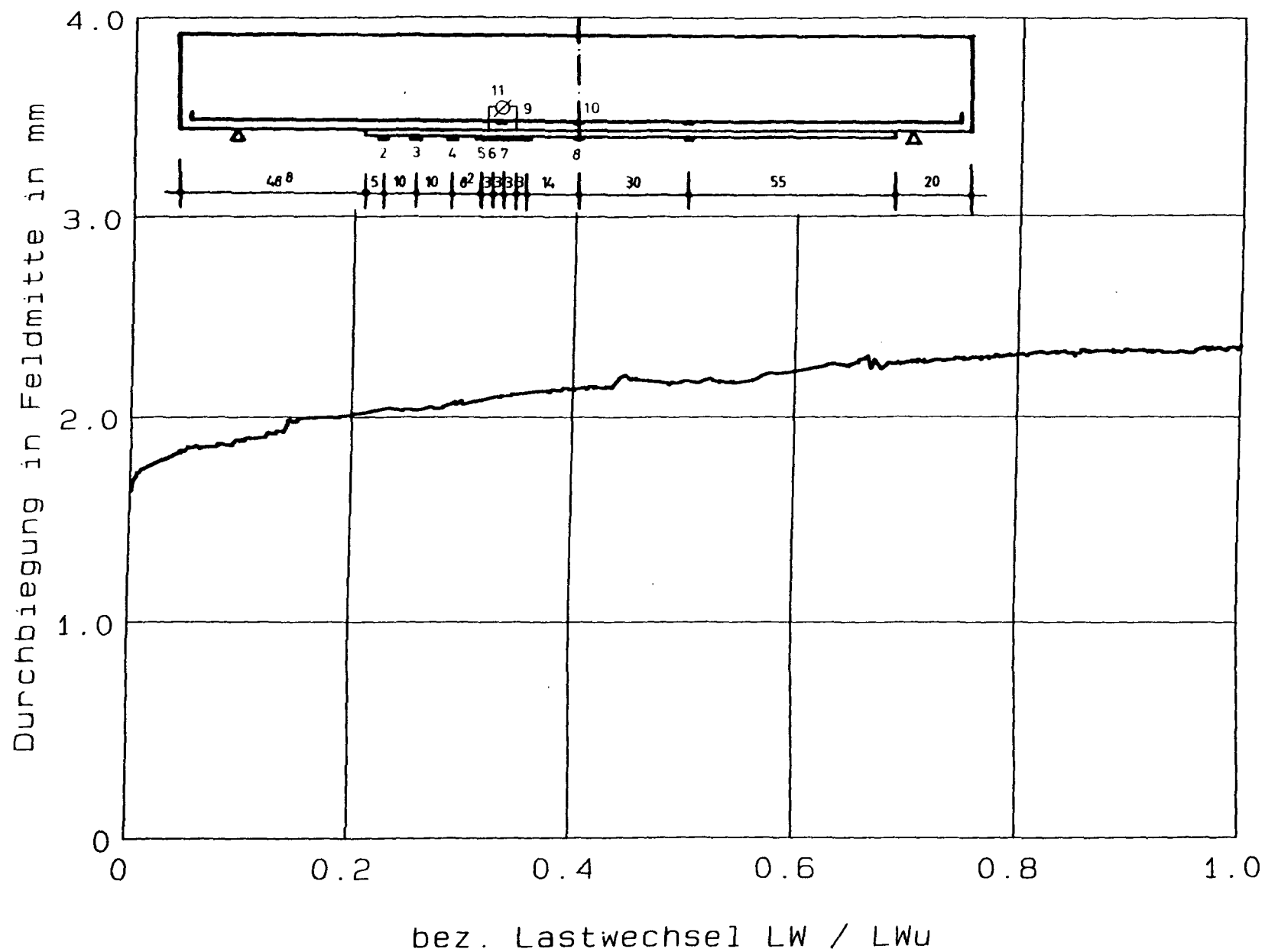
Versuch DYN25: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

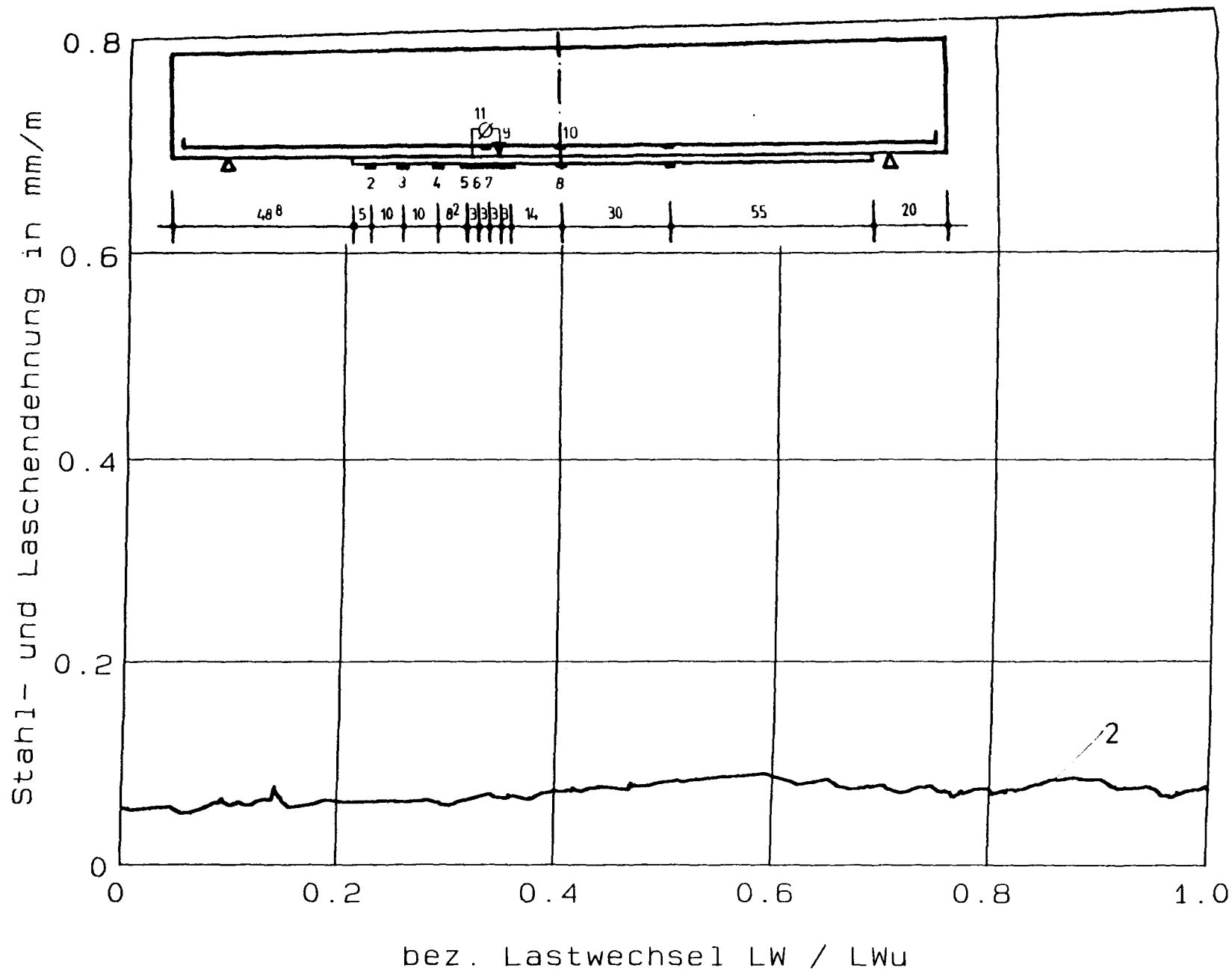


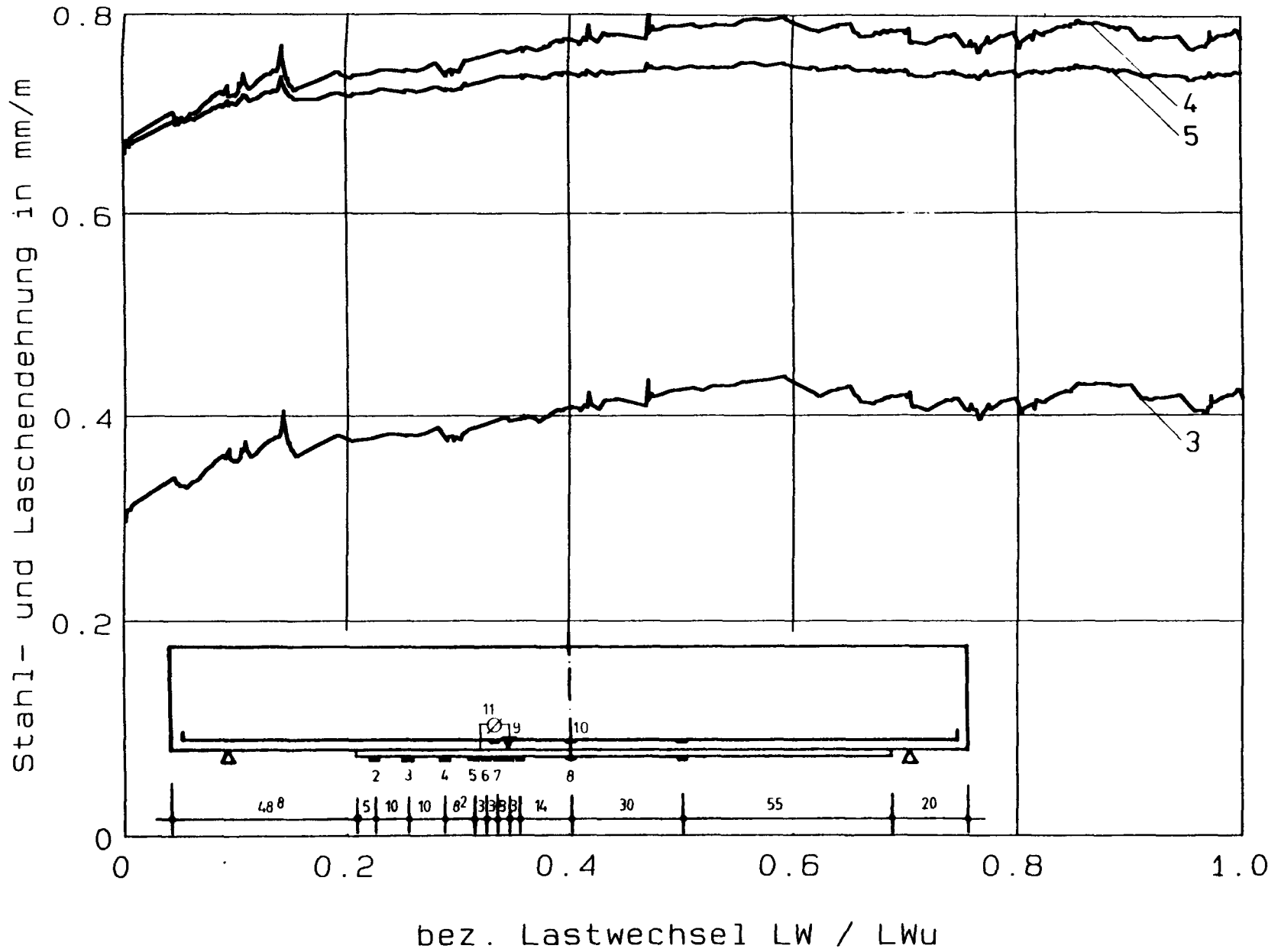
Versuch DYN25: vertikale rel. Rißuerverschiebung - Lastwechsel



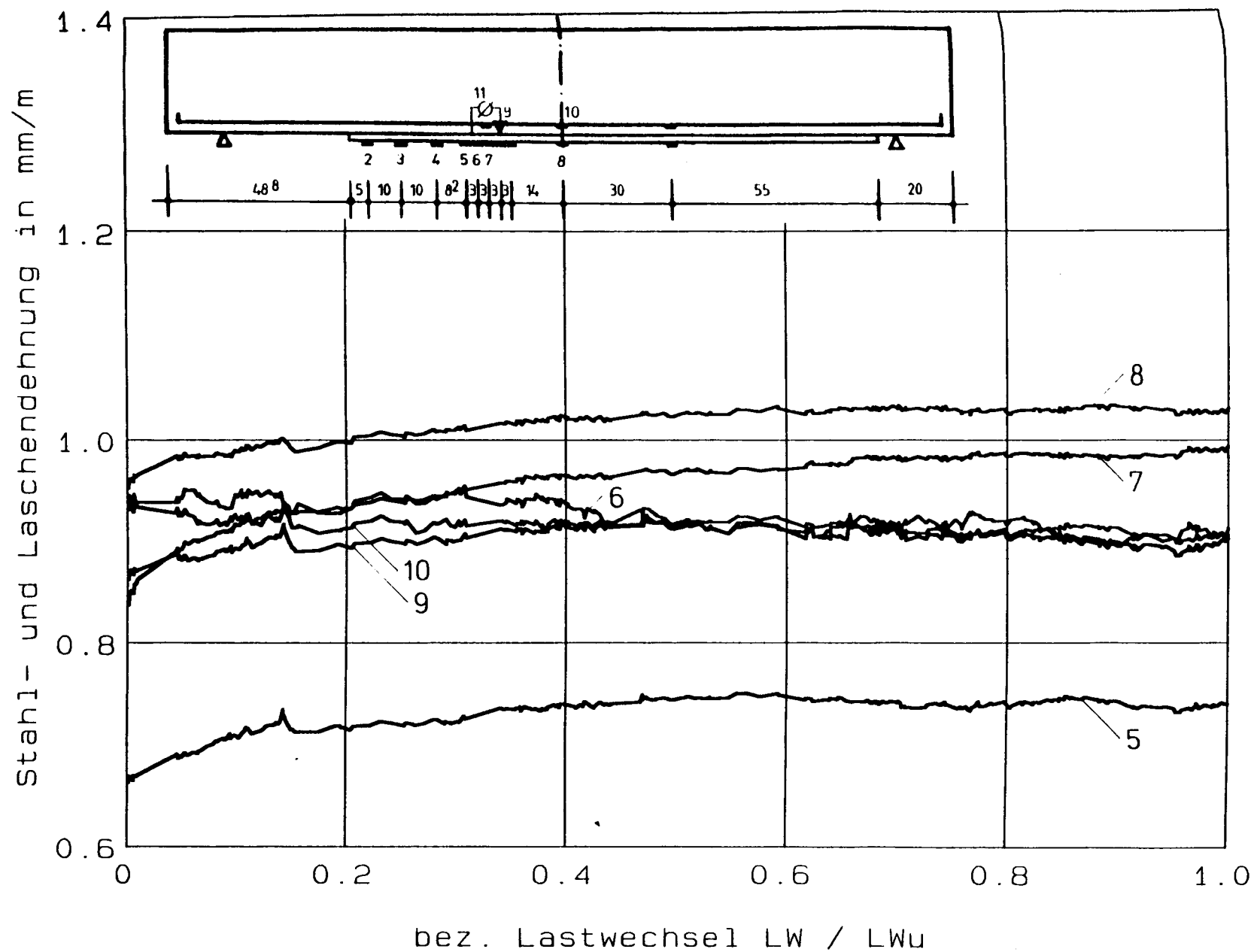
Versuch DYN27: Pressenkraft - Lastwechsel

**Versuch DYN27: Durchbiegung - Lastwechsel**

Versuch DYN27: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

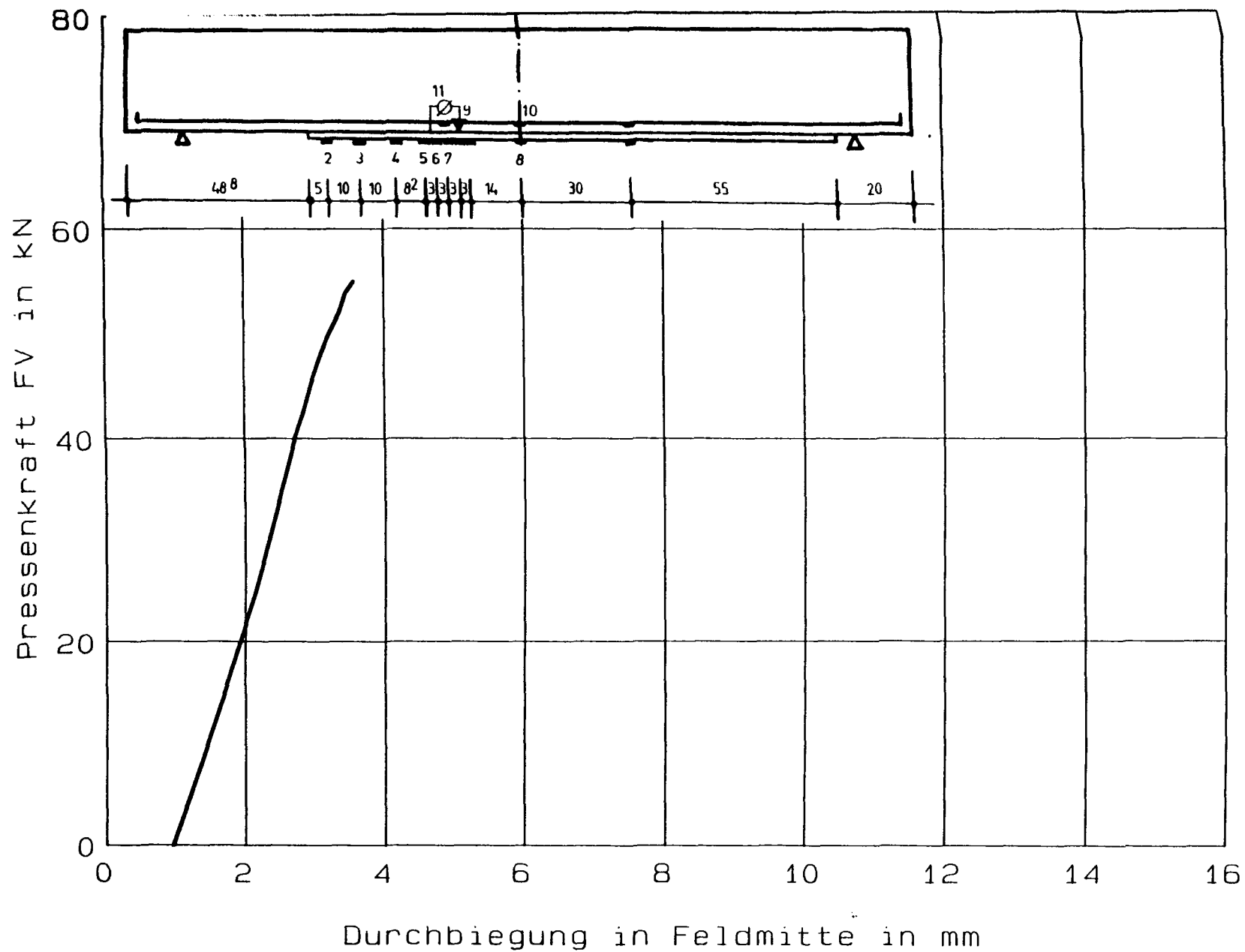


Versuch DYN27: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

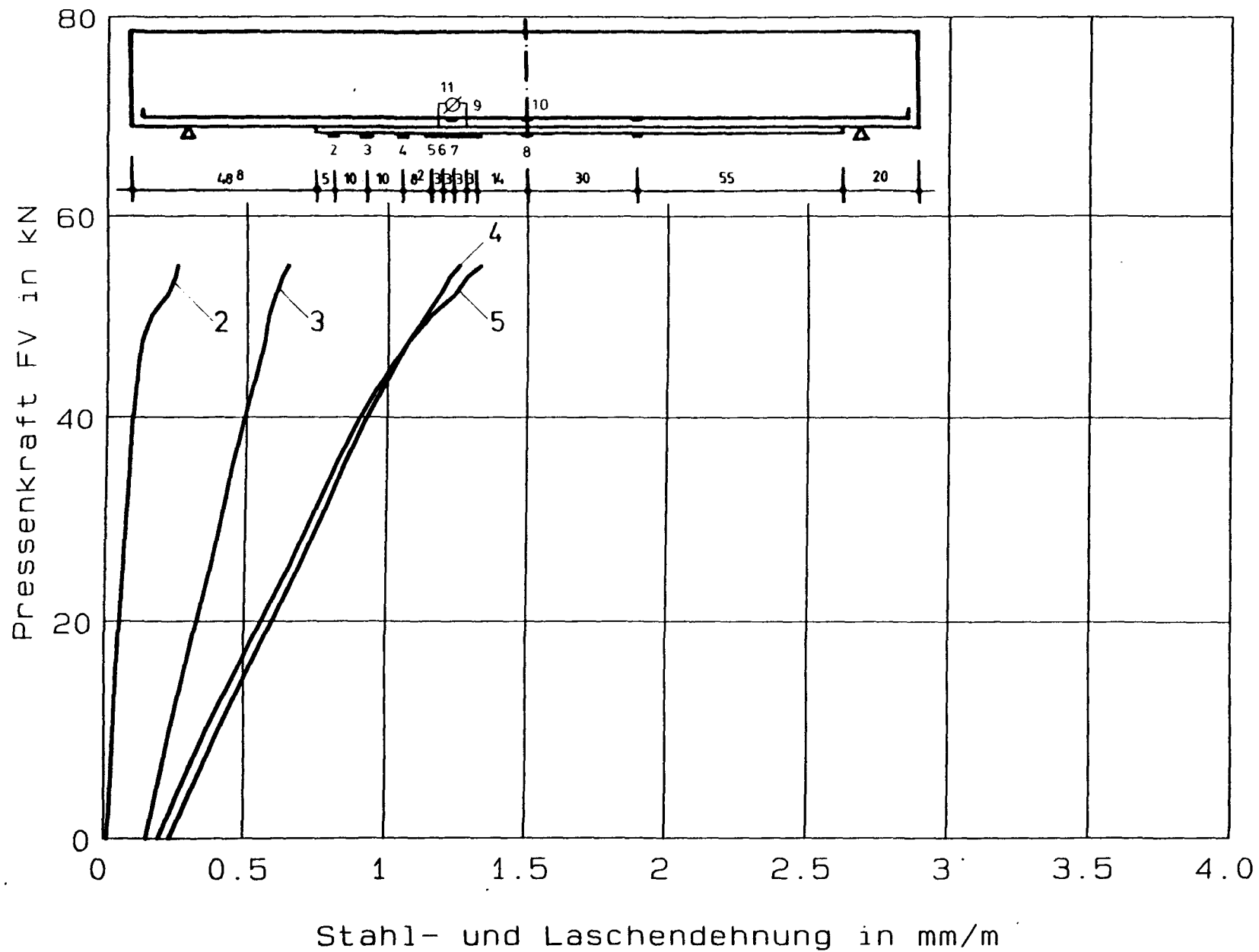


Versuch DYN27: Stahl- und Laschendechnik - Lastwechsel

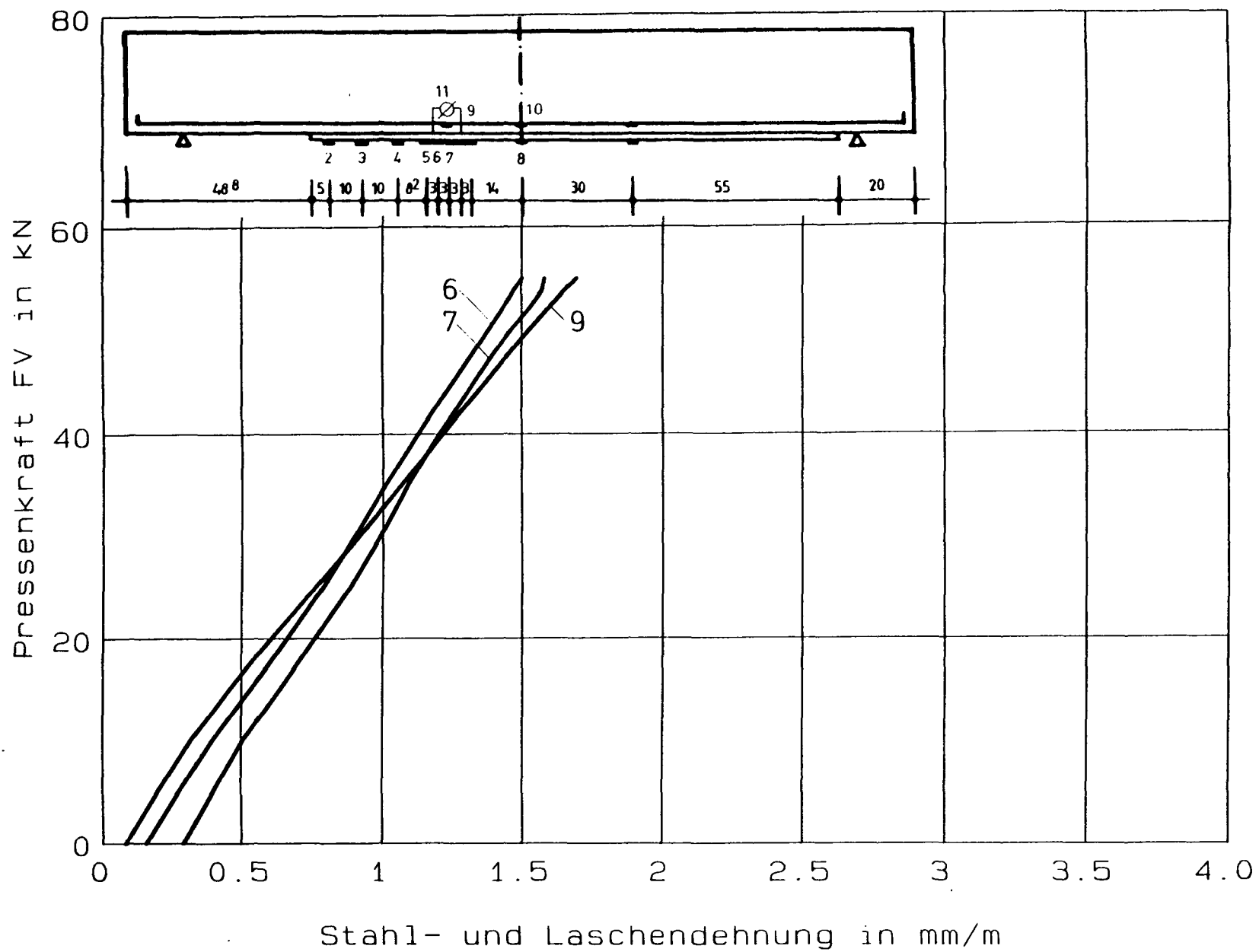




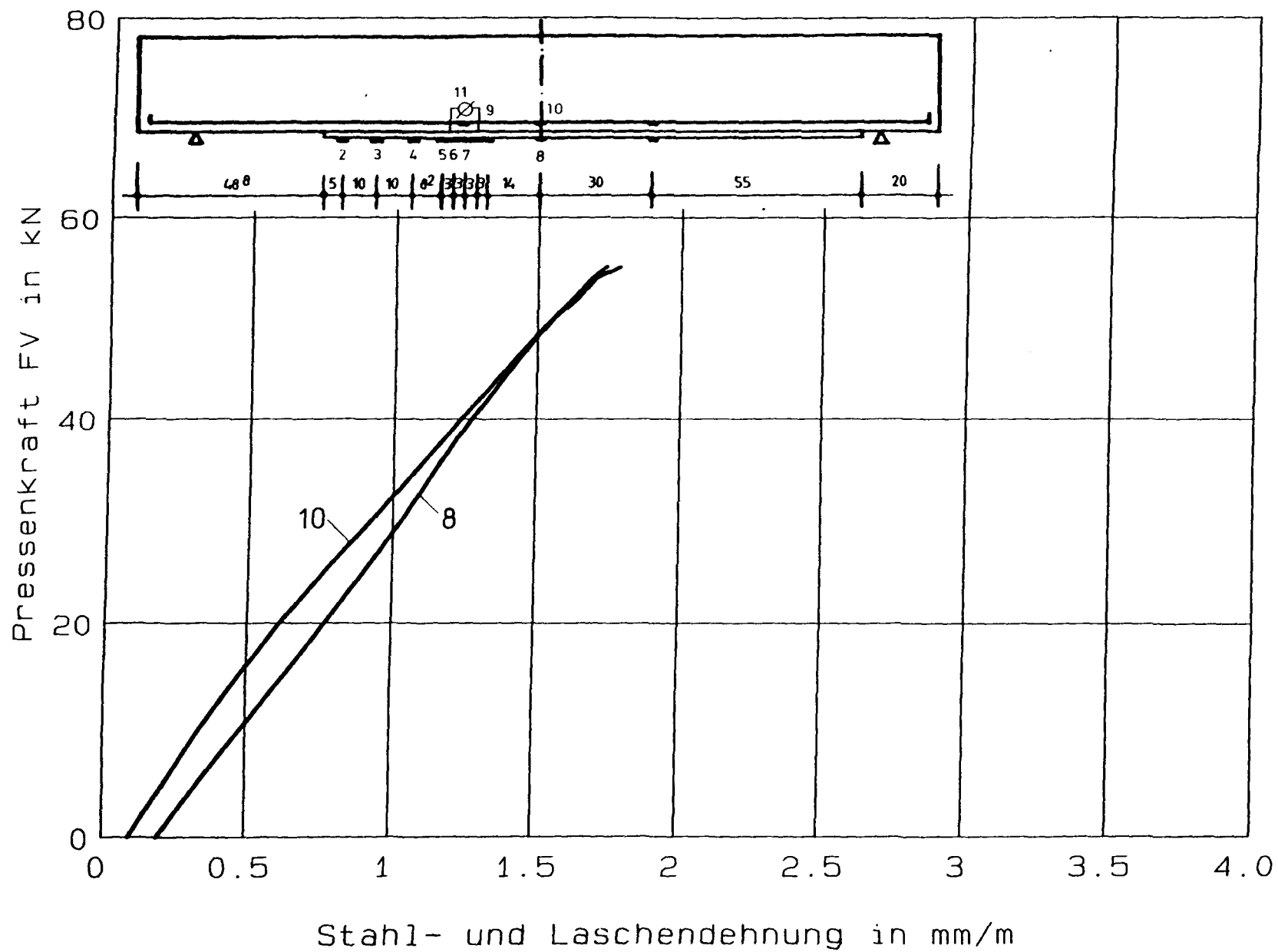
Versuch DYN27: Pressenkraft - Durchbiegung (Restfestigkeit)



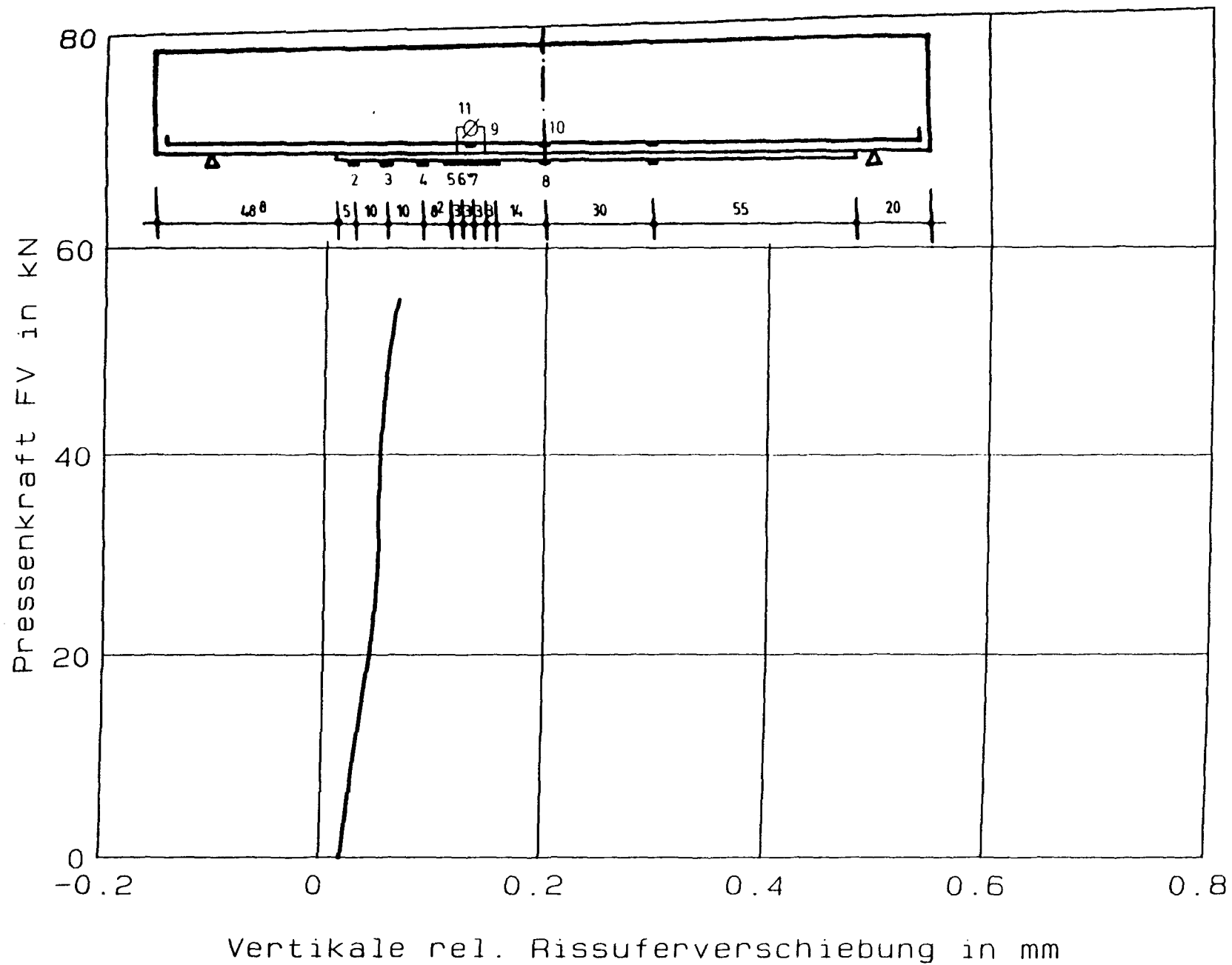
Versuch DYN27: Pressenkraft - Stahl- und Laschendehnung (Restfestigkeit)



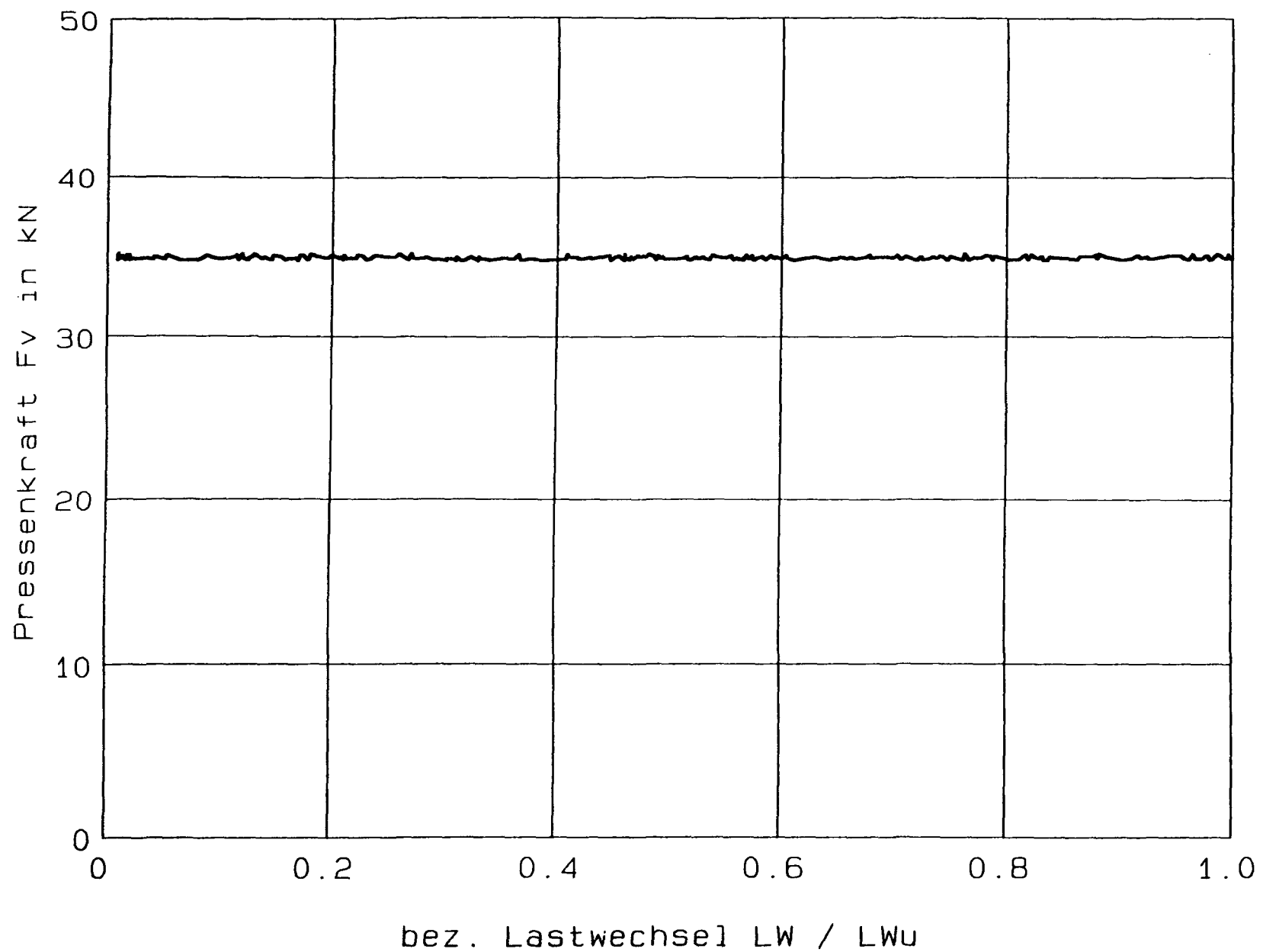
Versuch DYN27: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik (Restfestigkeit)

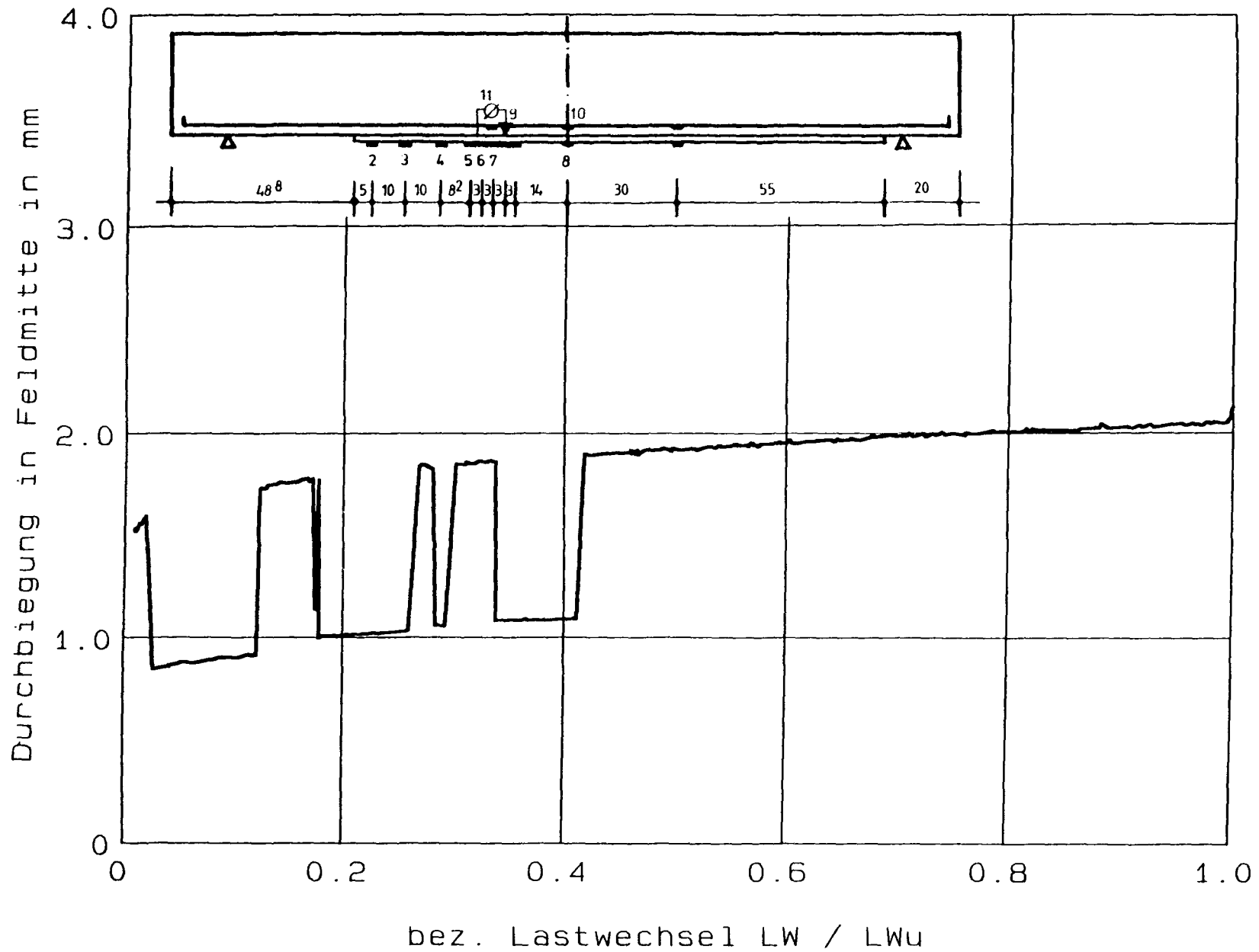


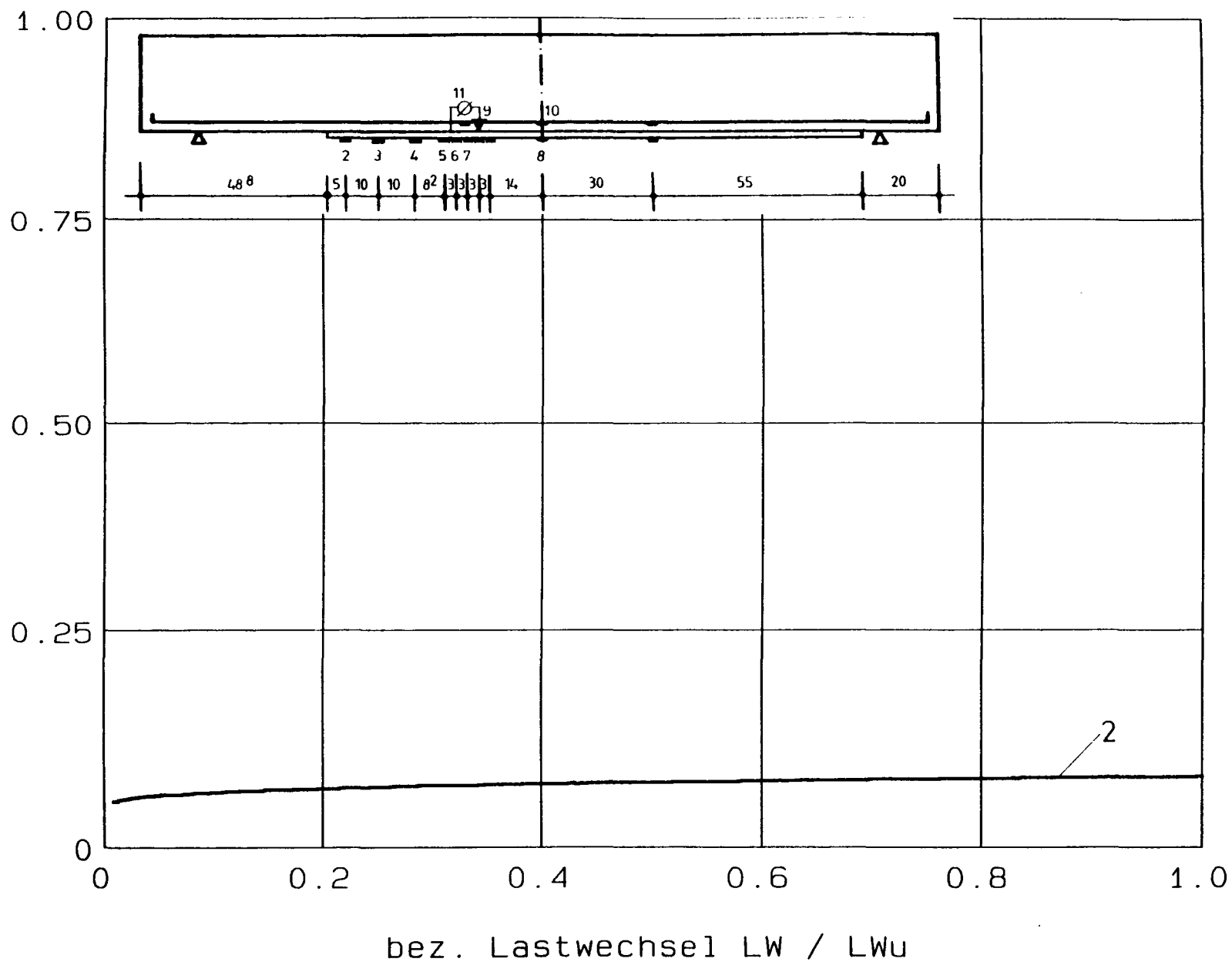
Versuch DYN27: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik (Restfestigkeit)



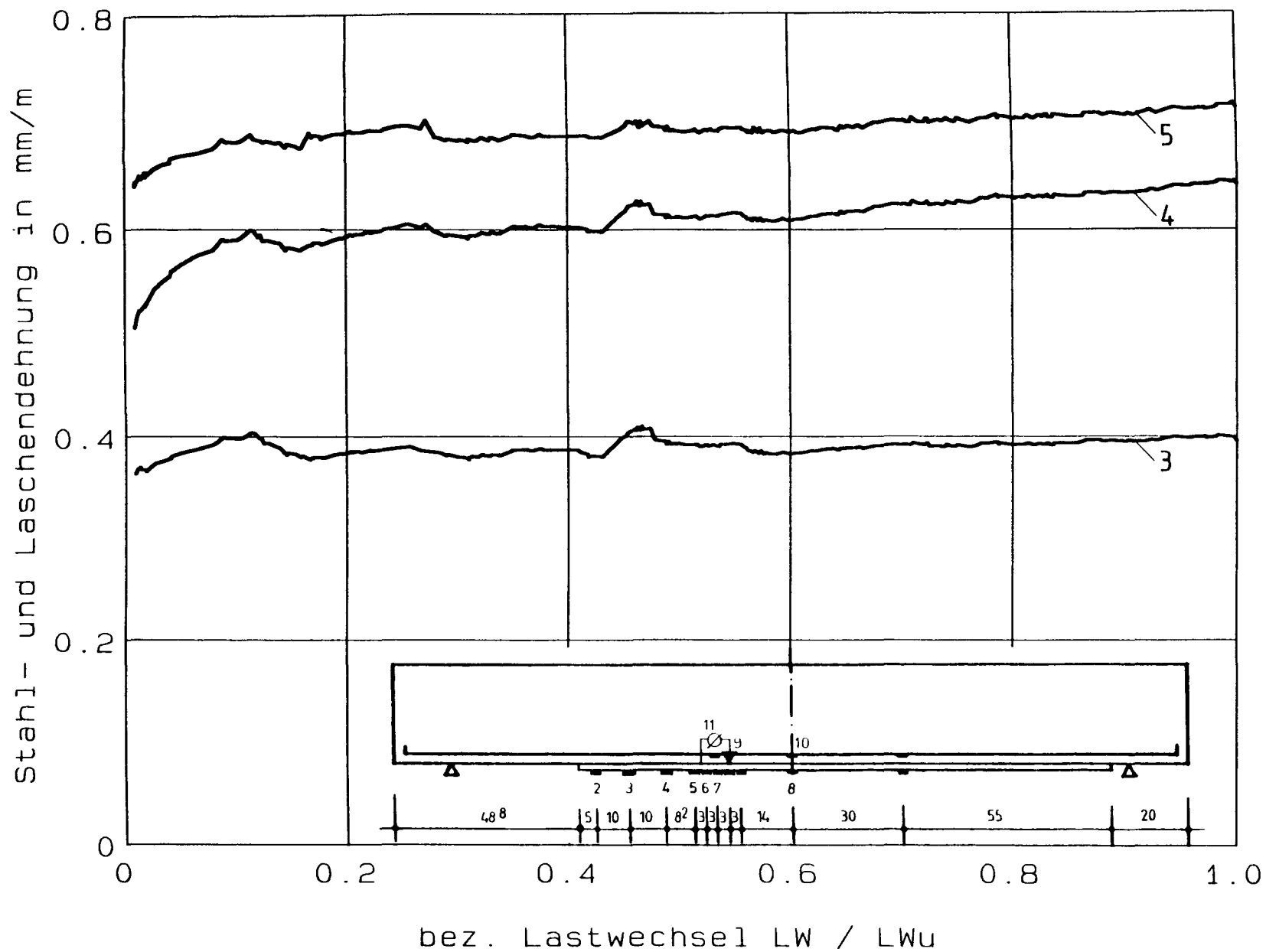
Versuch DYN27: Pressenkraft - vertikale rel. Rissuferverschiebung

**Versuch DYN28: Pressenkraft - Lastwechsel**

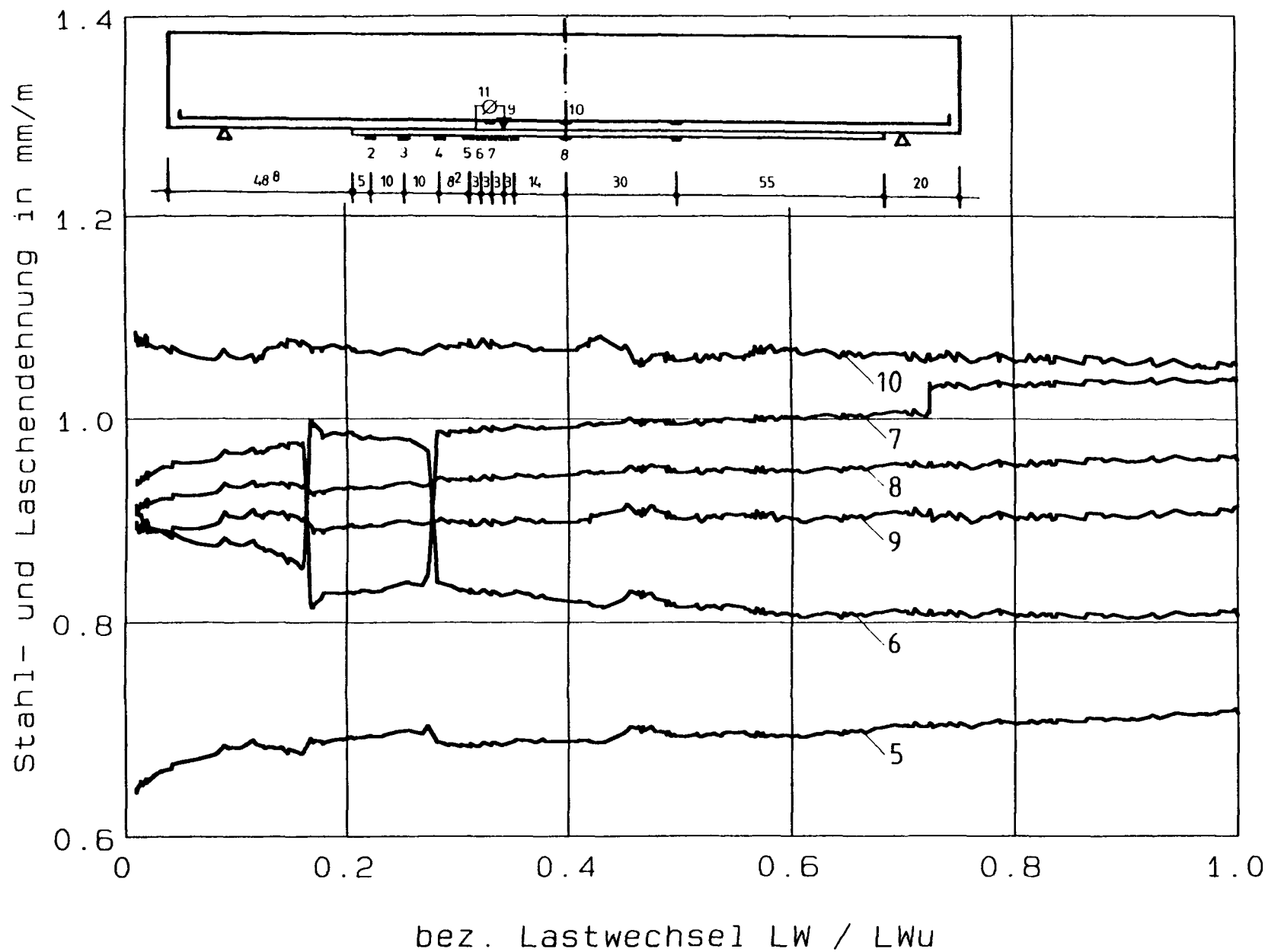
**Versuch DYN28: Durchbiegung - Lastwechsel**



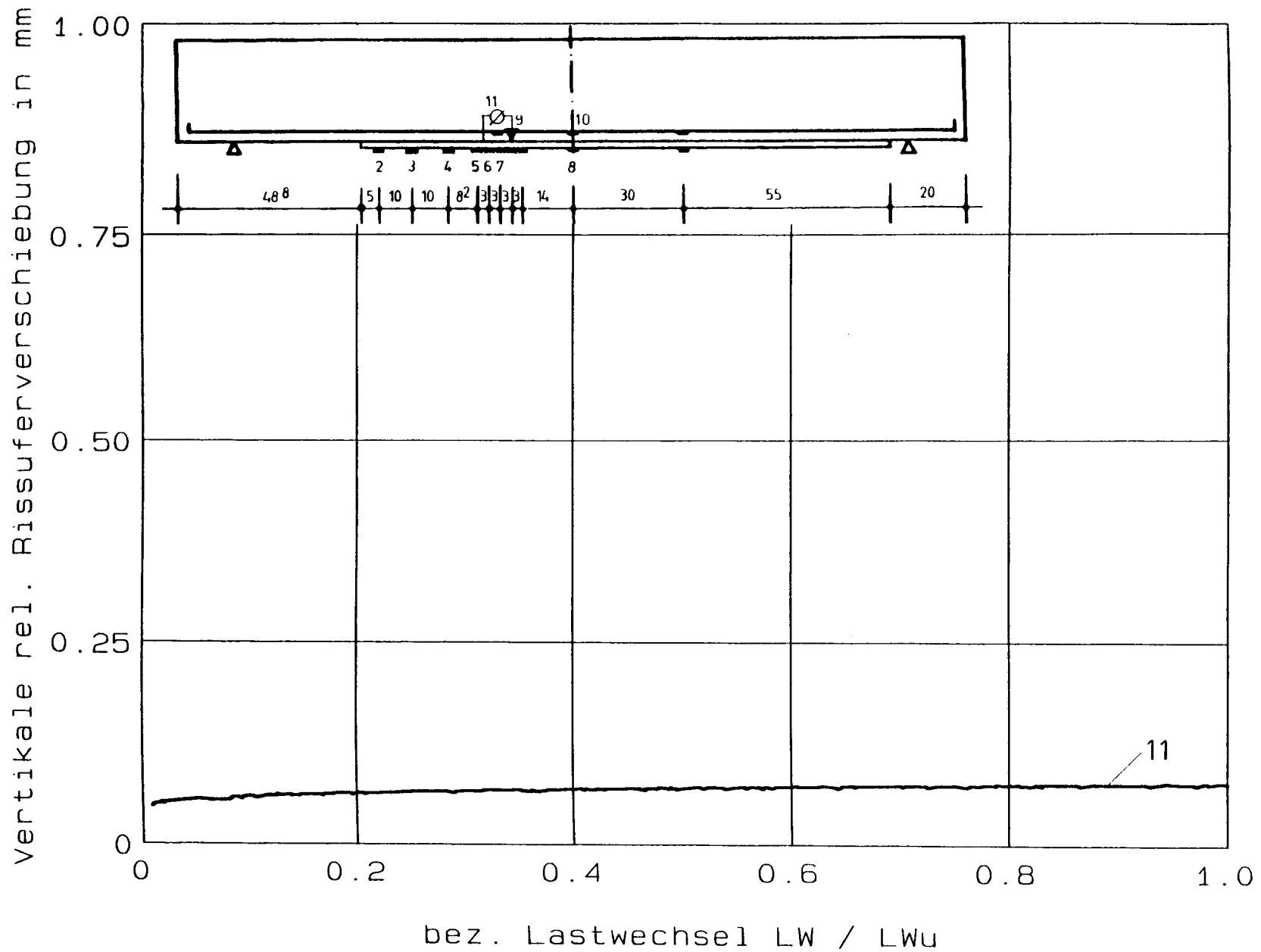
Versuch DYN28: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel



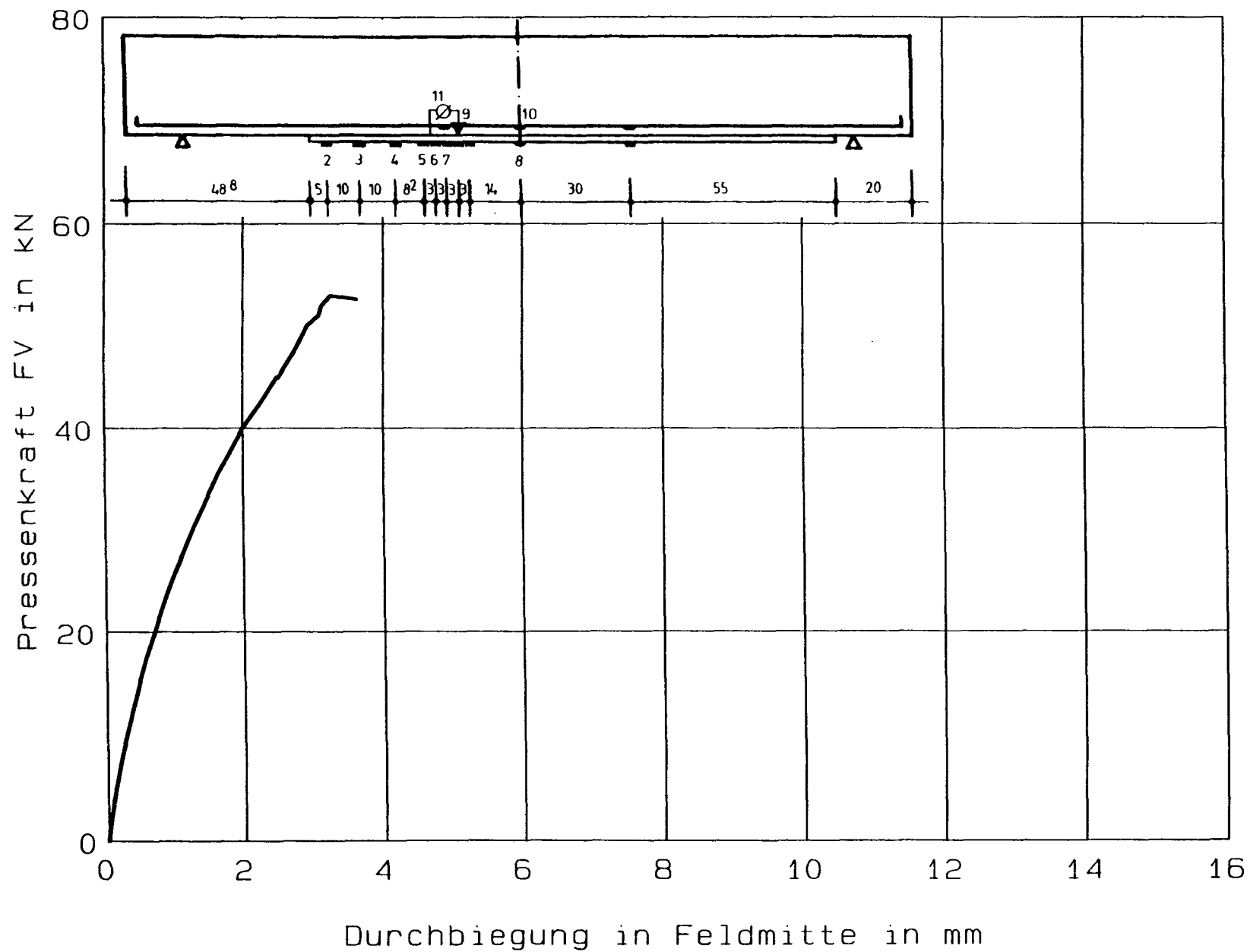
Versuch DYN28: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

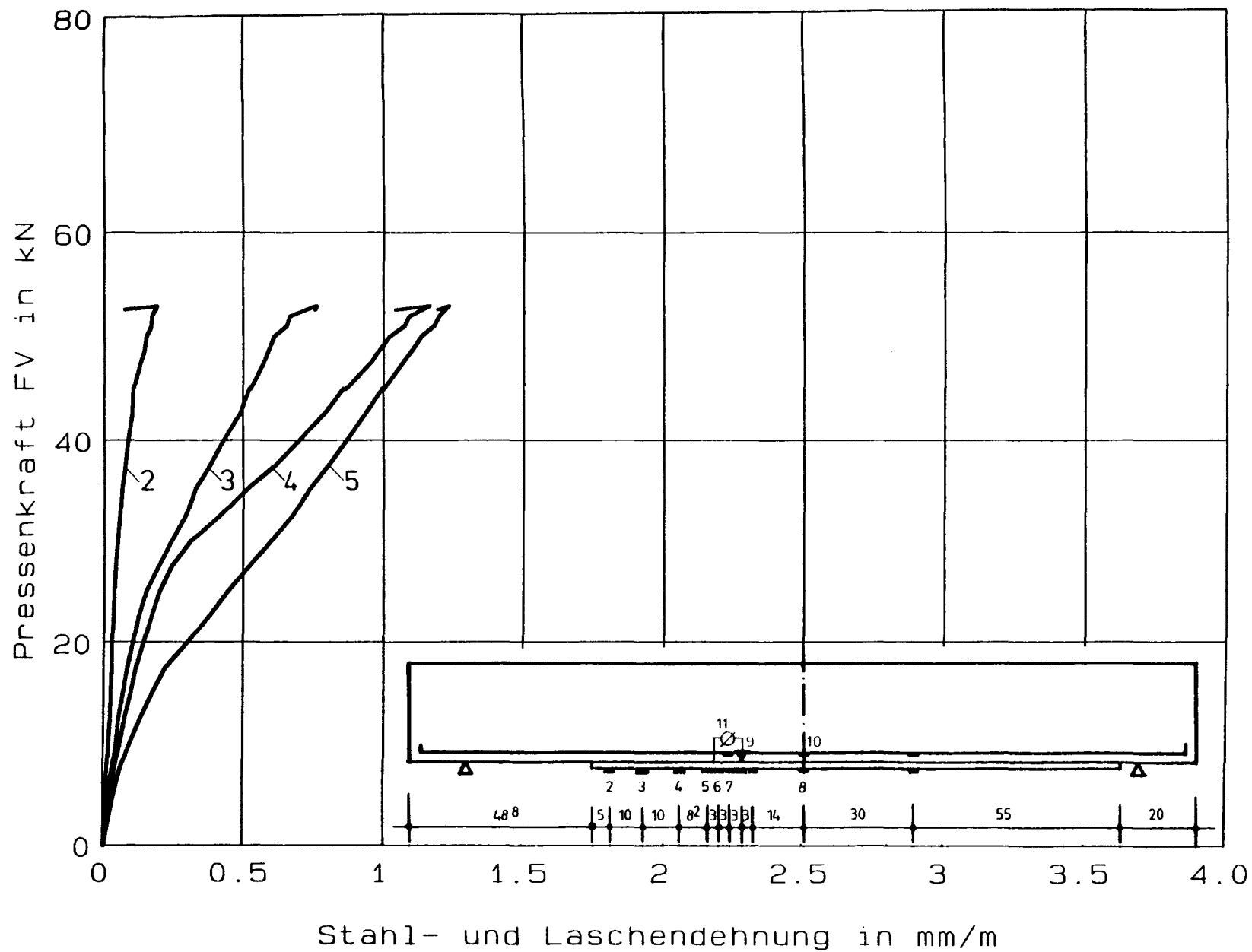


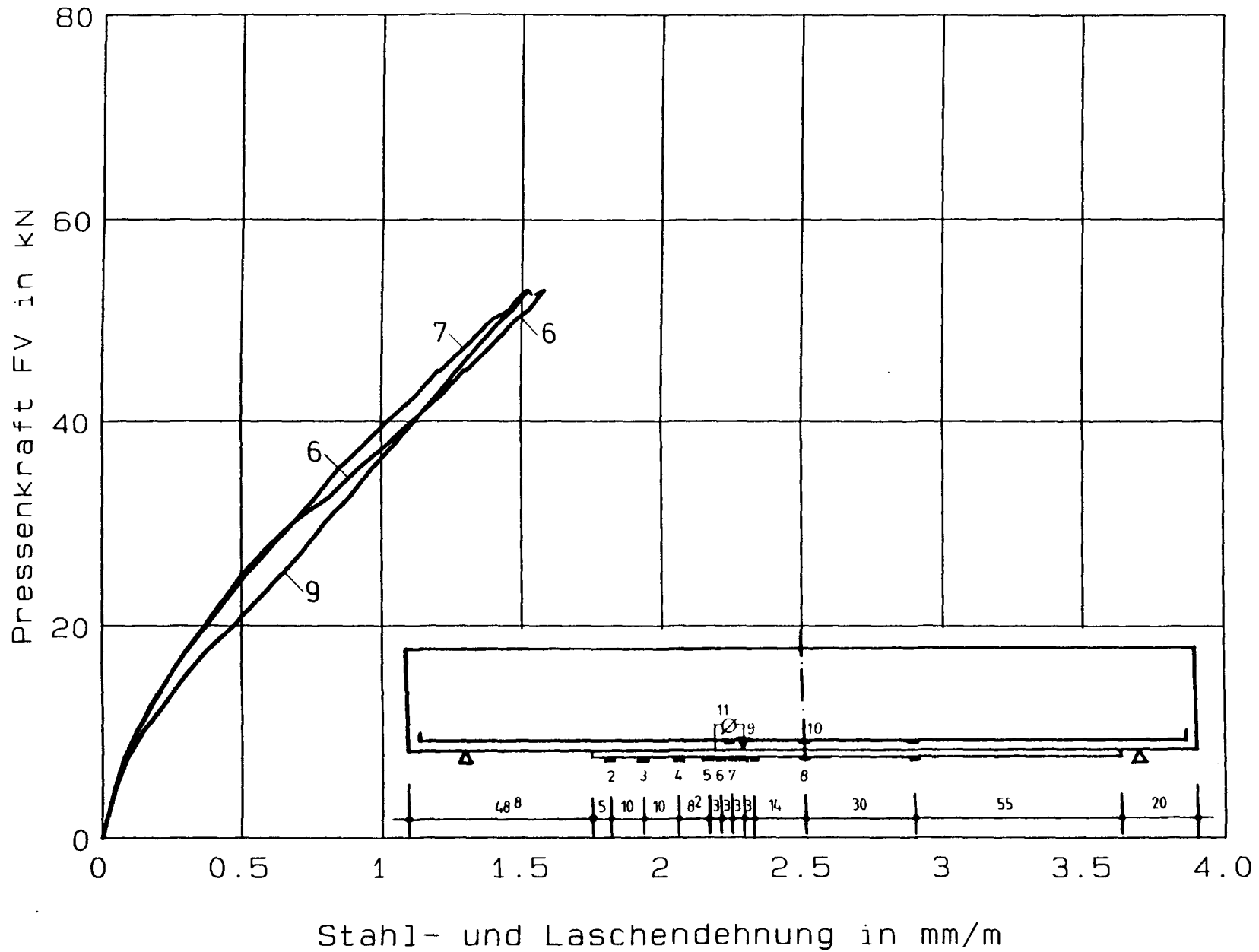
Versuch DYN28: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel



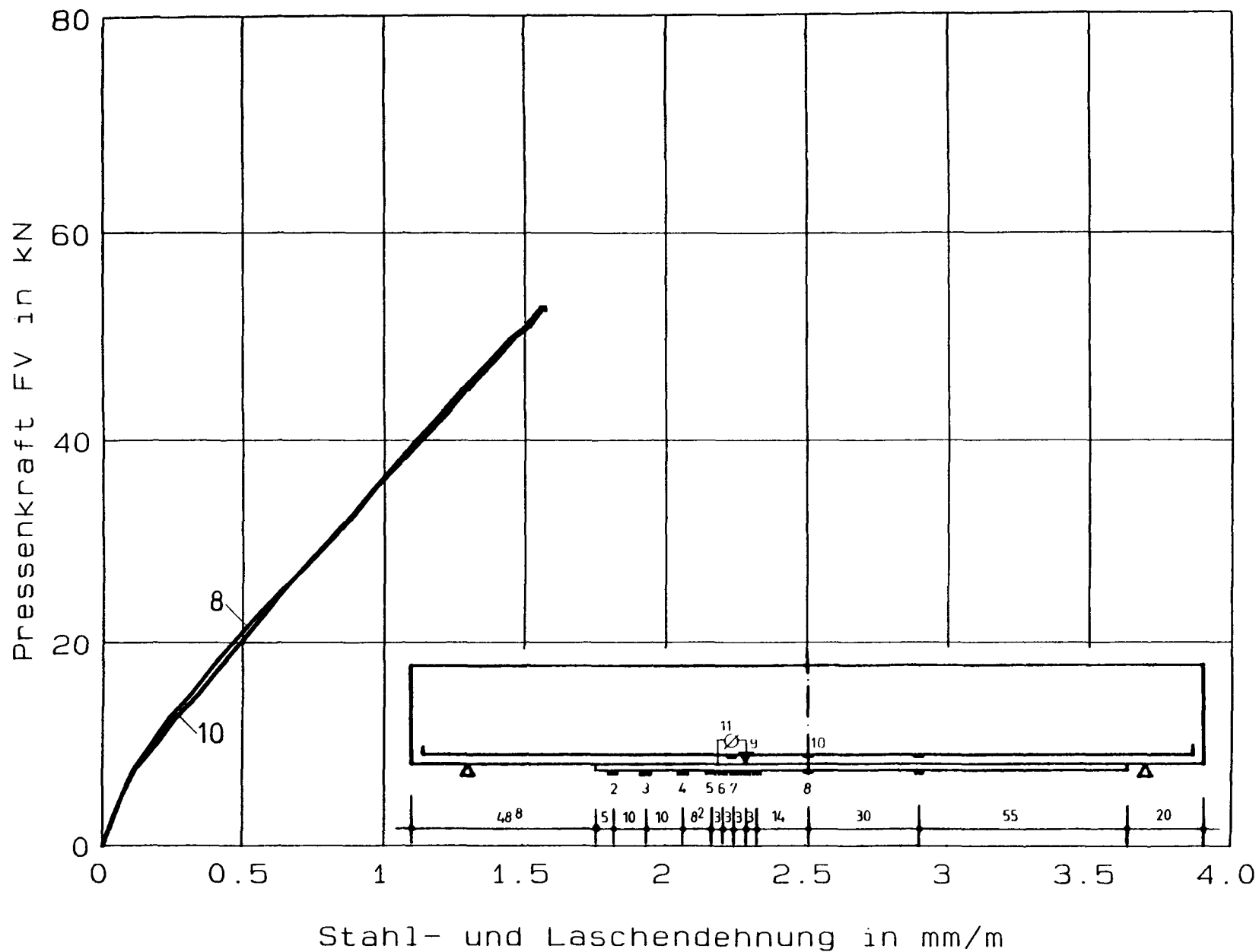
Versuch DYN28: vertikale rel. Rißuferverschiebung - Lastwechsel

**Versuch STAT29: Pressenkraft - Durchbiegung**

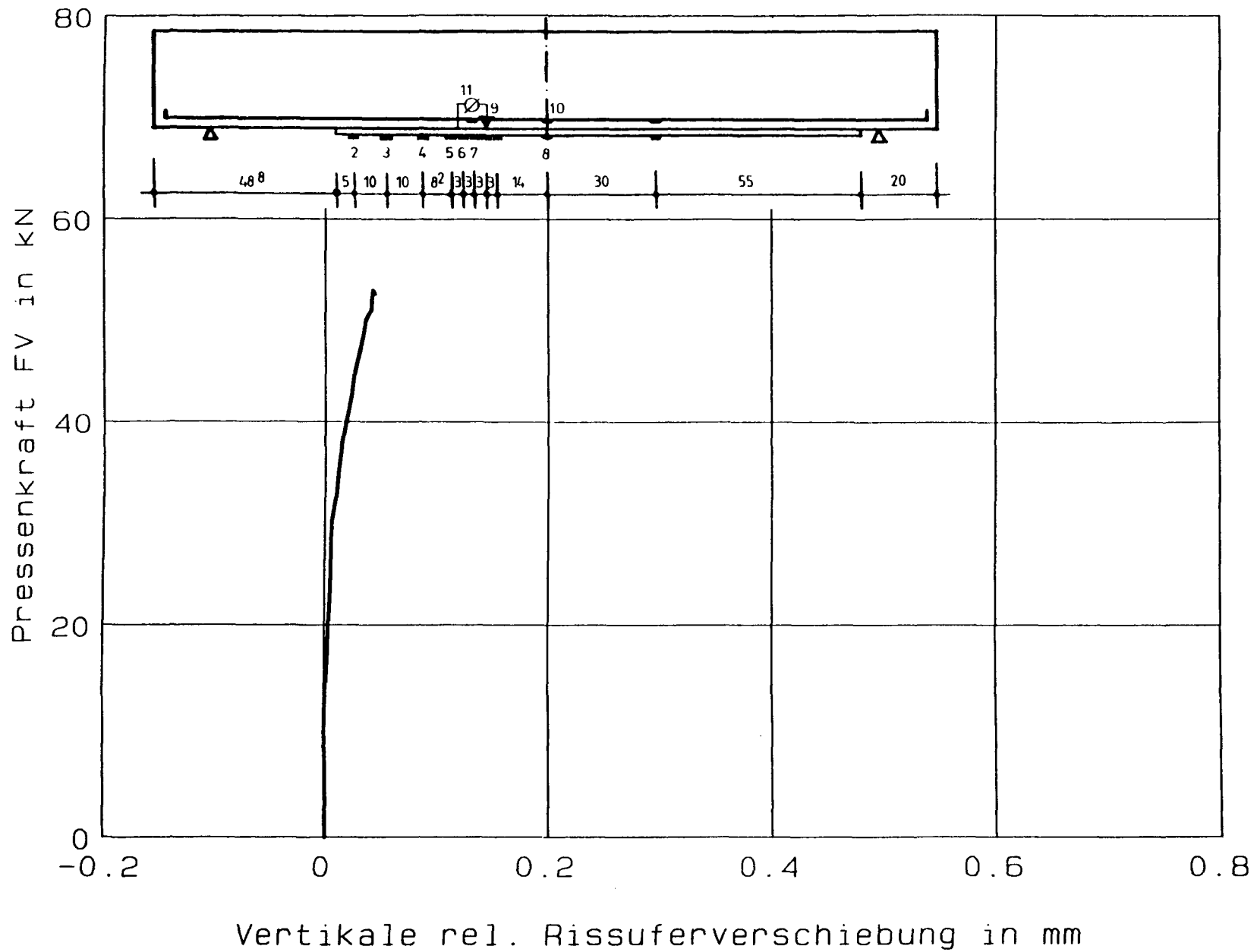




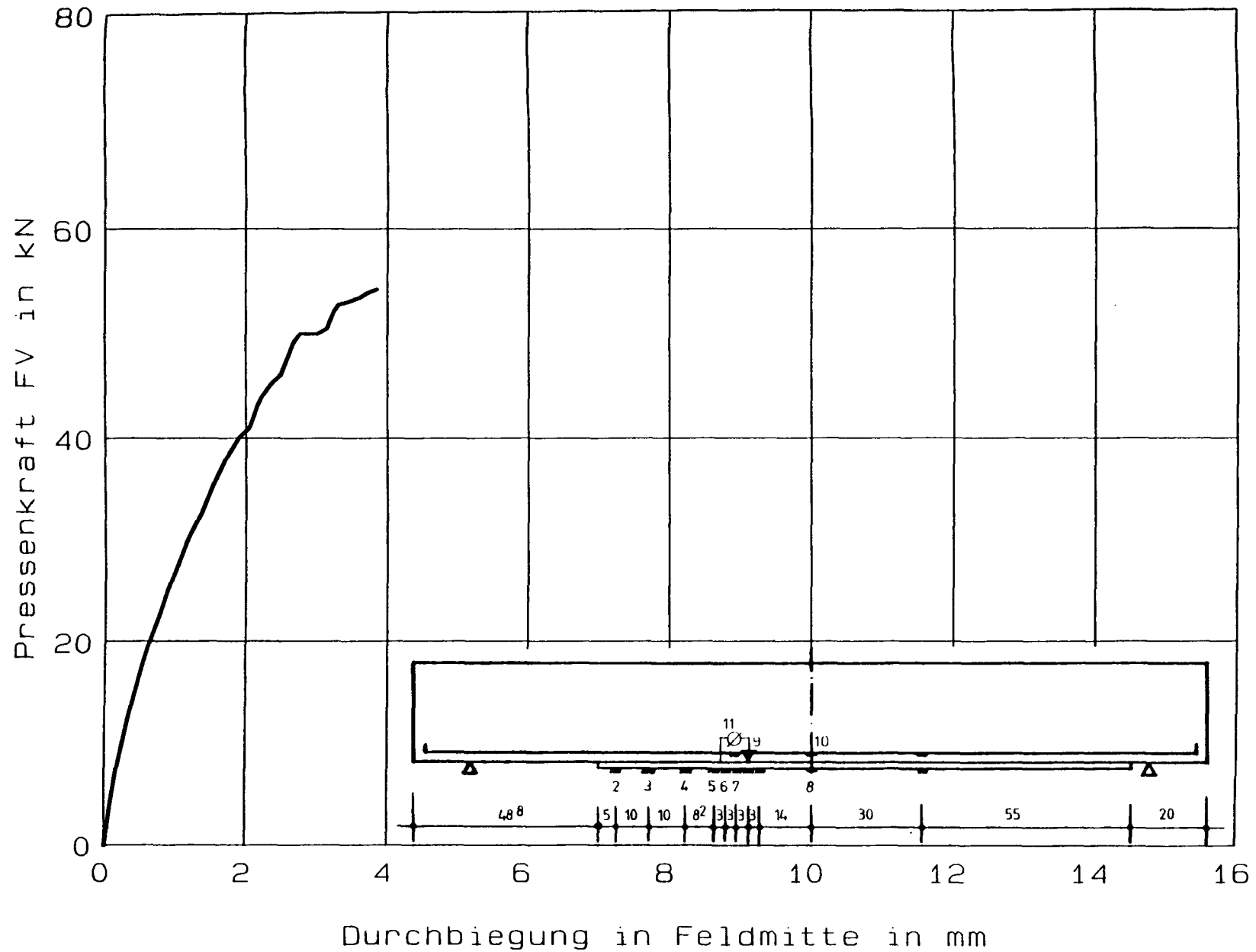
Versuch STAT29: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik

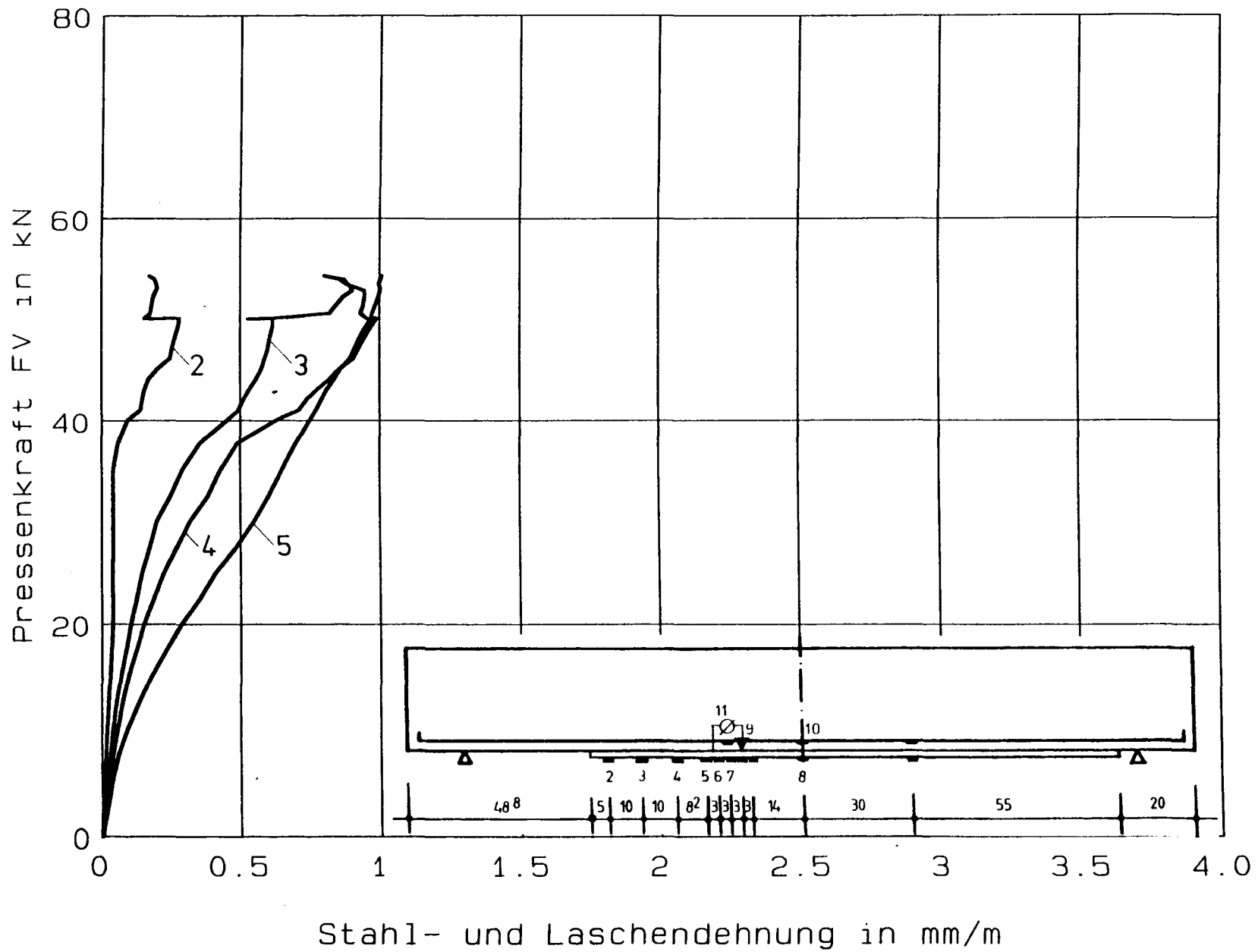


Versuch STAT29: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik

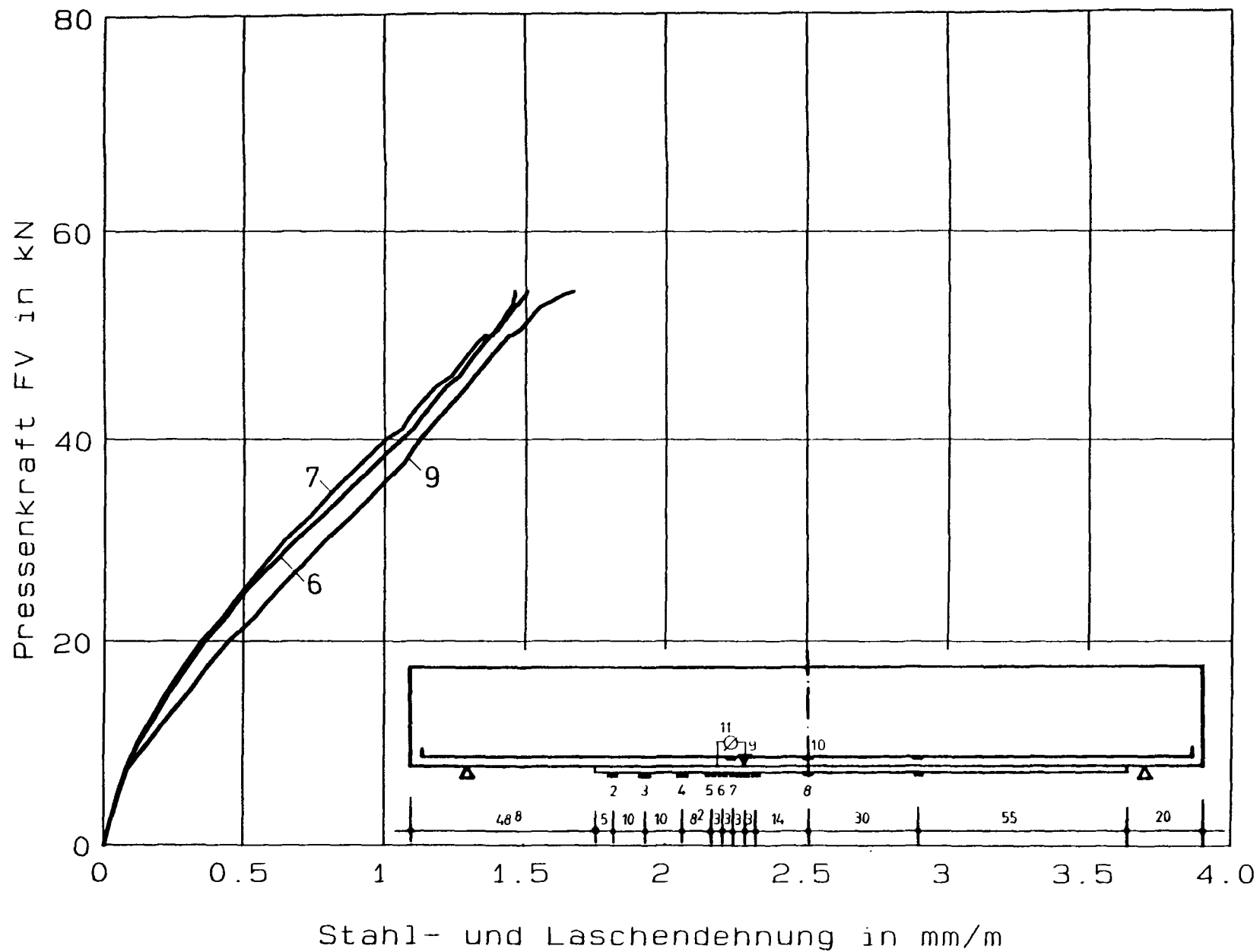


Versuch STAT29: Pressenkraft - vertikale rel. Rißuferverschiebung

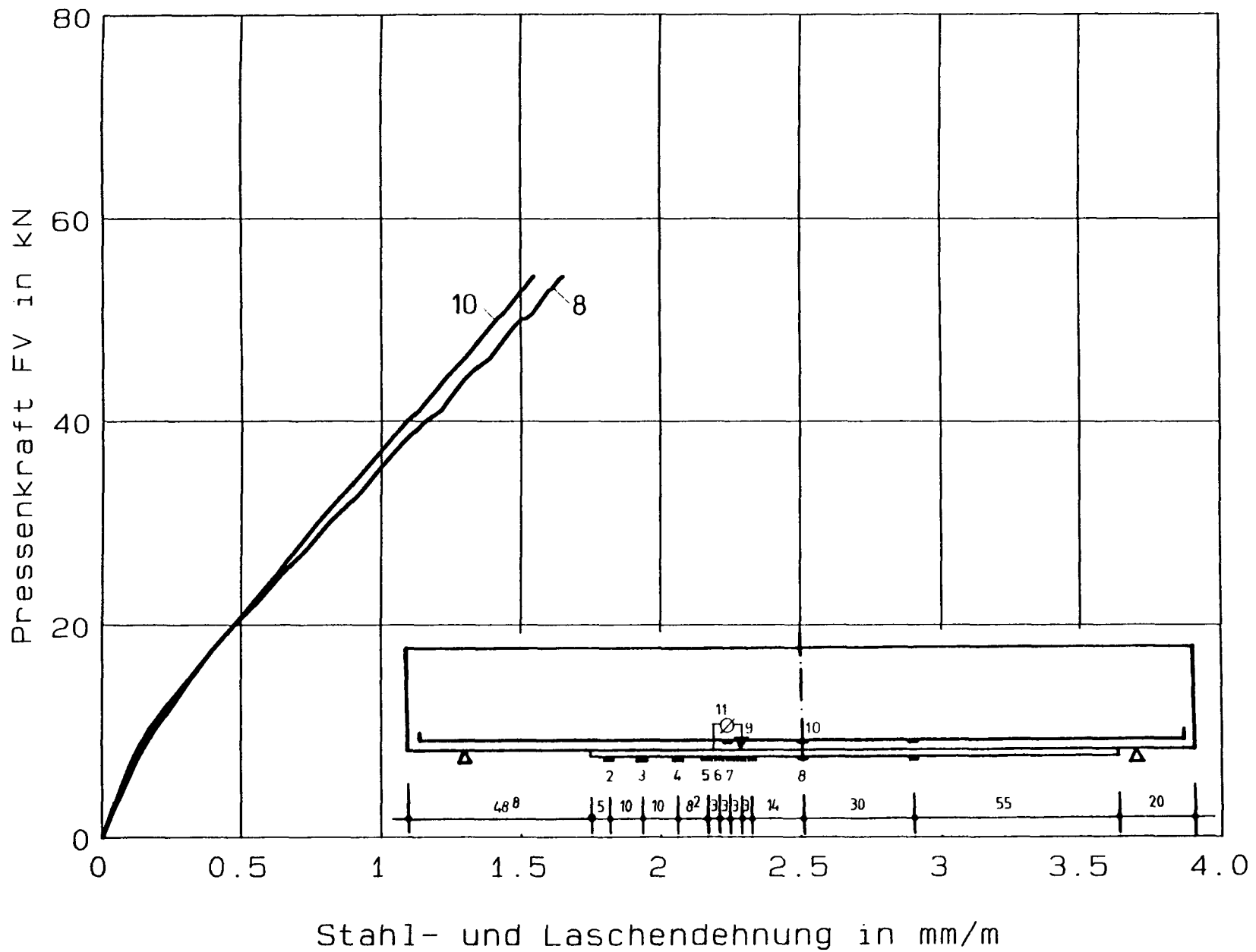
**Versuch STAT30: Pressenkraft - Durchbiegung**



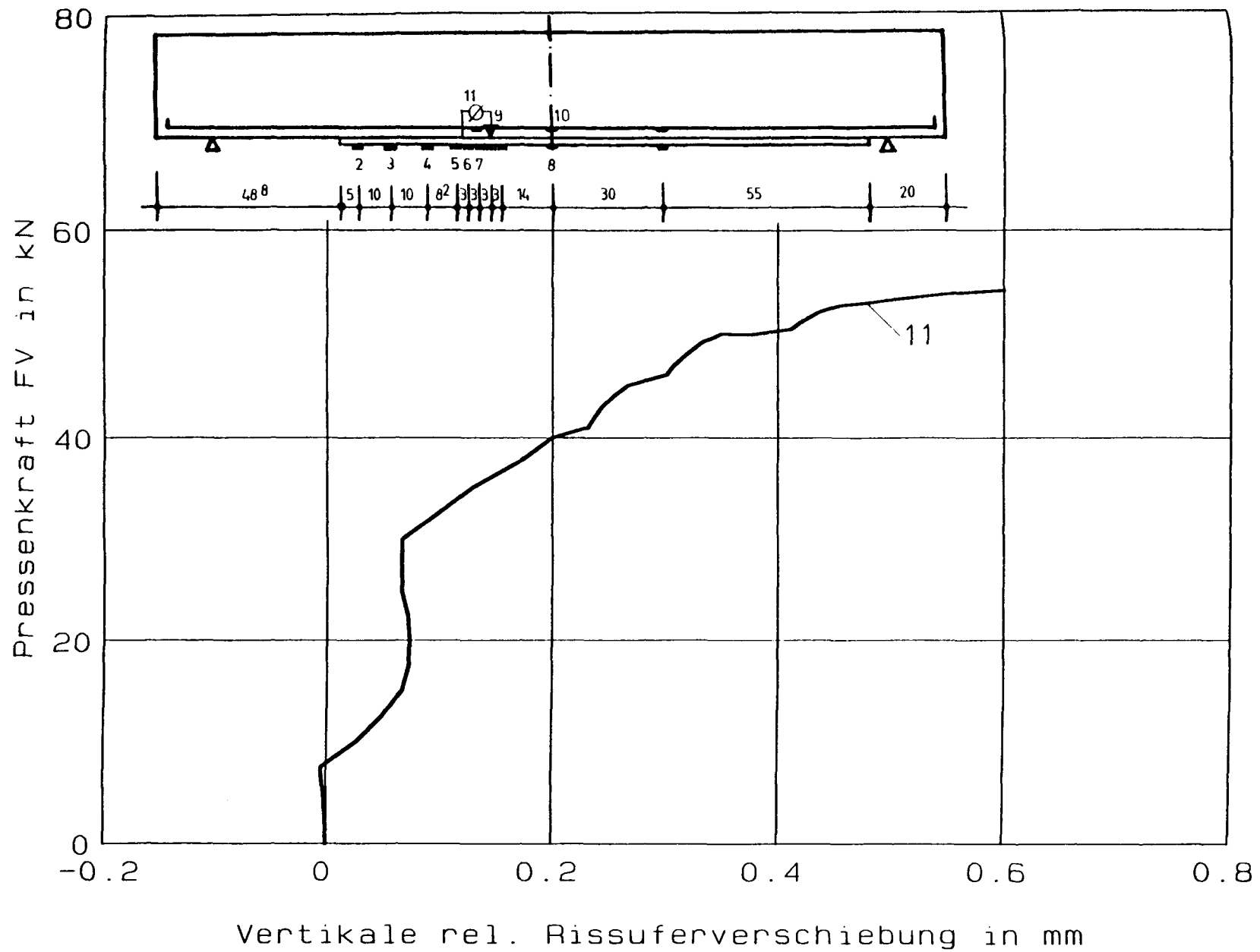
Versuch STAT30: Pressenkraft - Lastwechsel



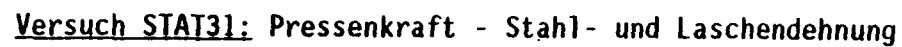
Versuch STAT30: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik

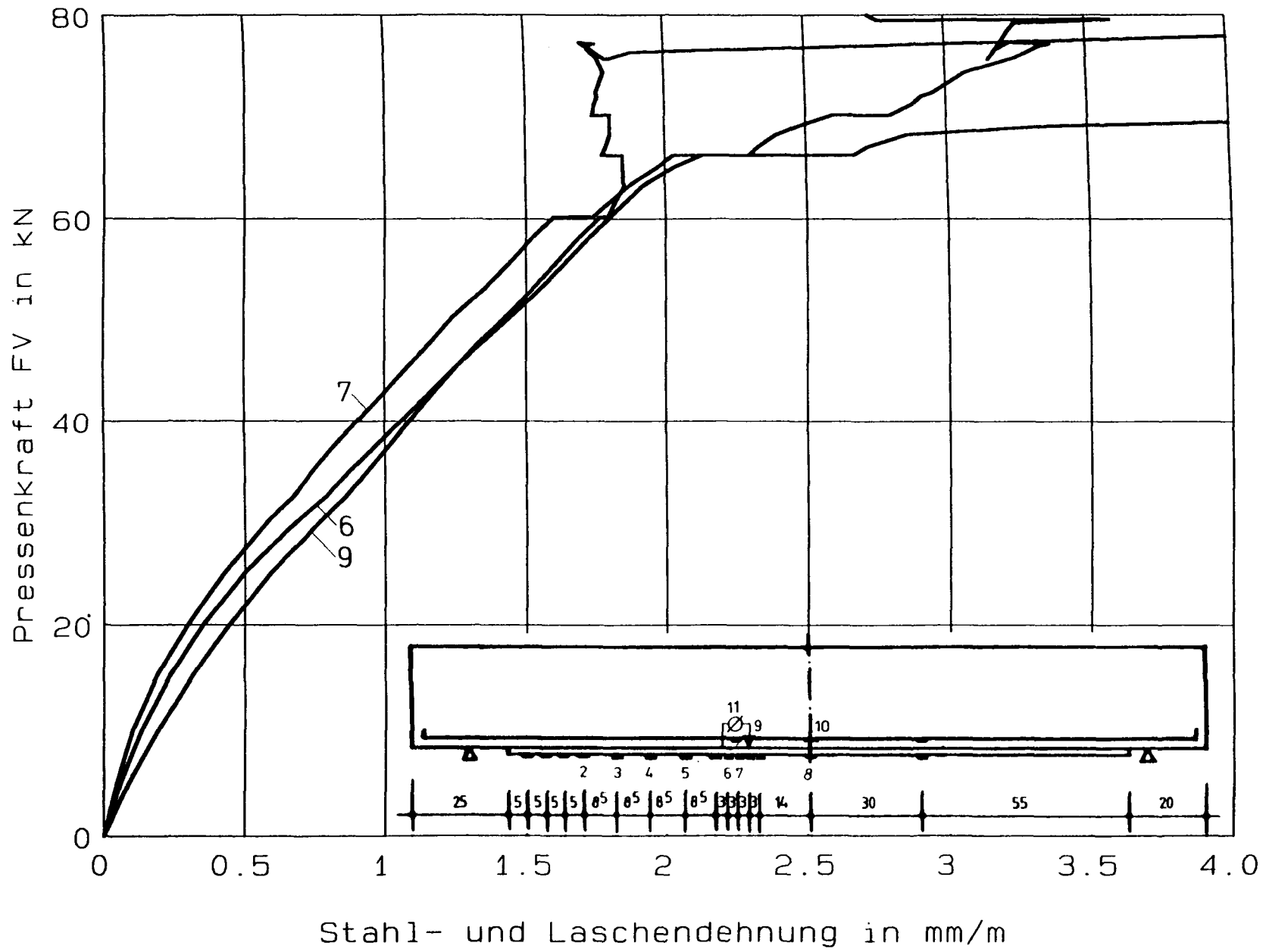


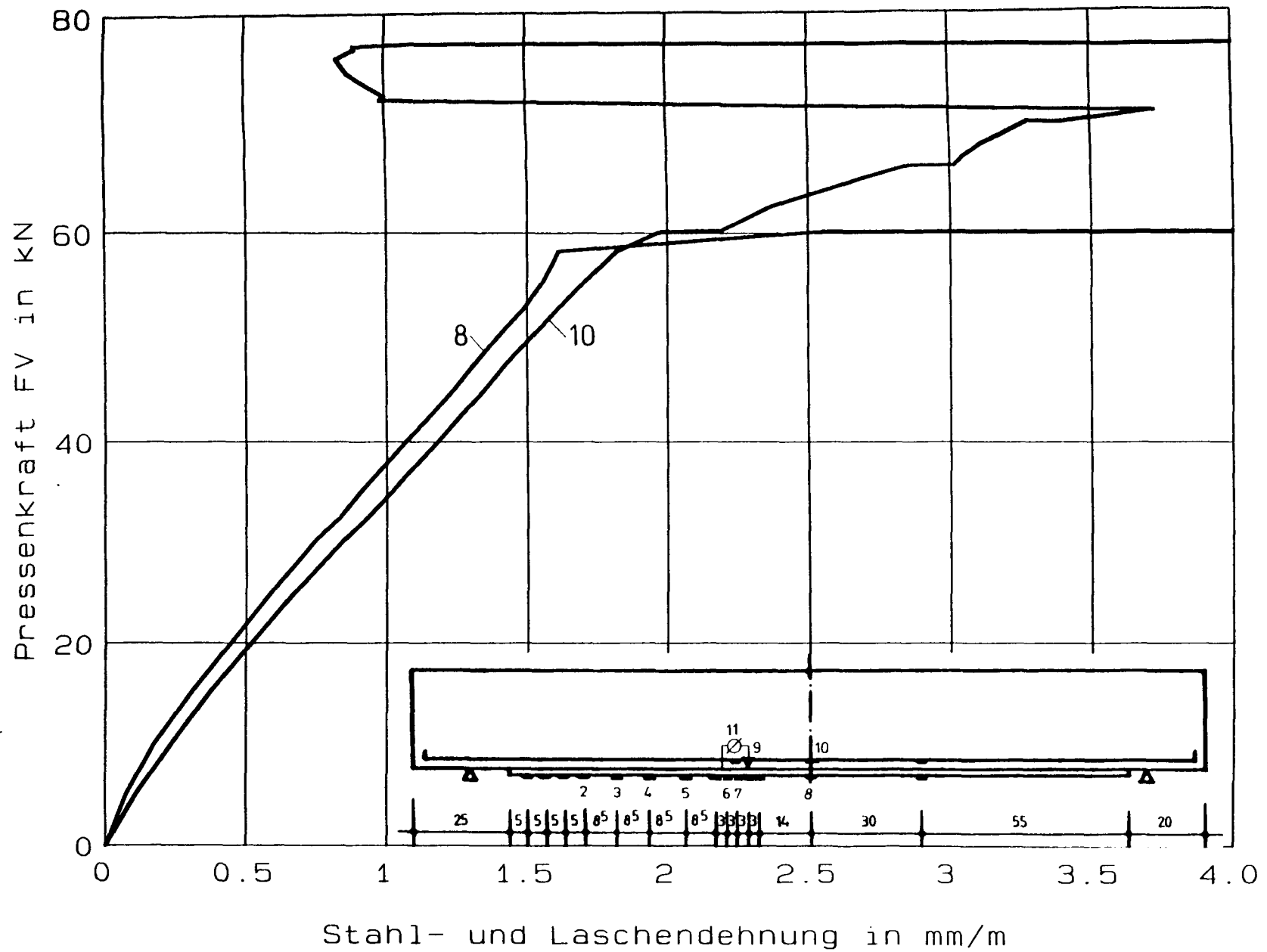
Versuch STAT30: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik



Versuch STAT30: Pressenkraft - vertikale relative Rißuferverschiebung

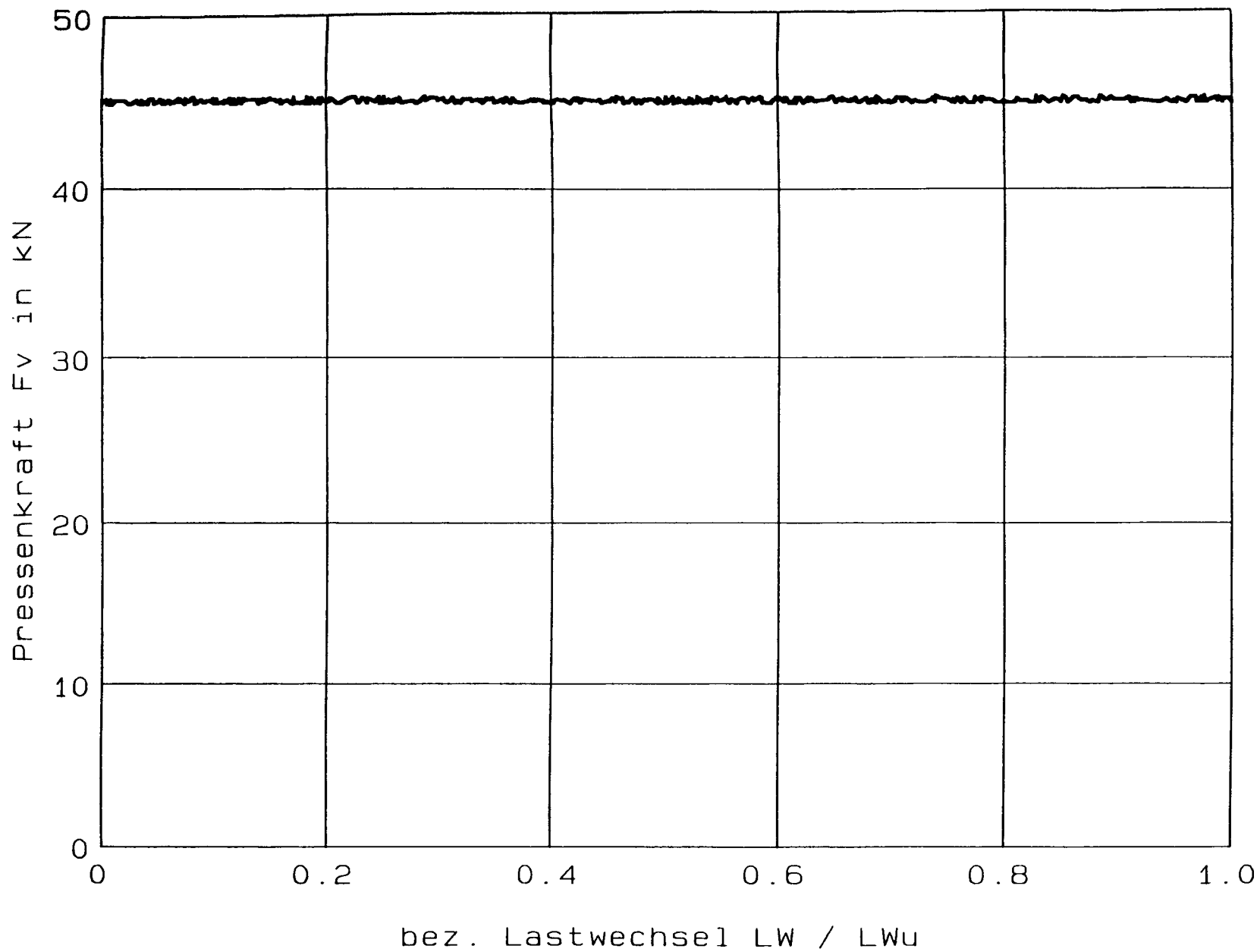


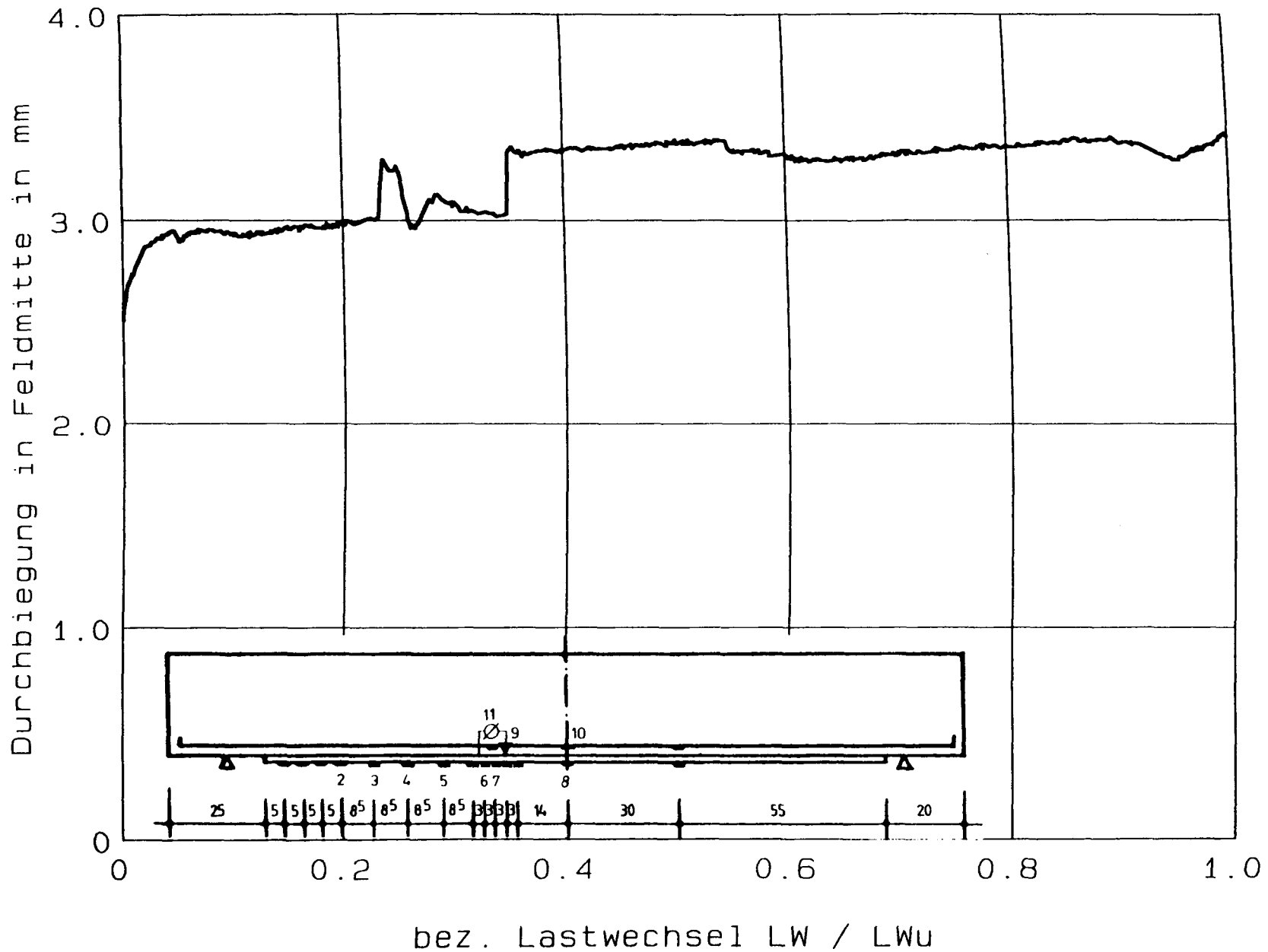
**Versuch STAT31: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik**



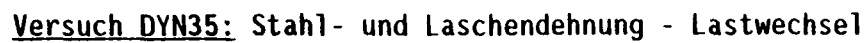
Versuch STAT31: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik

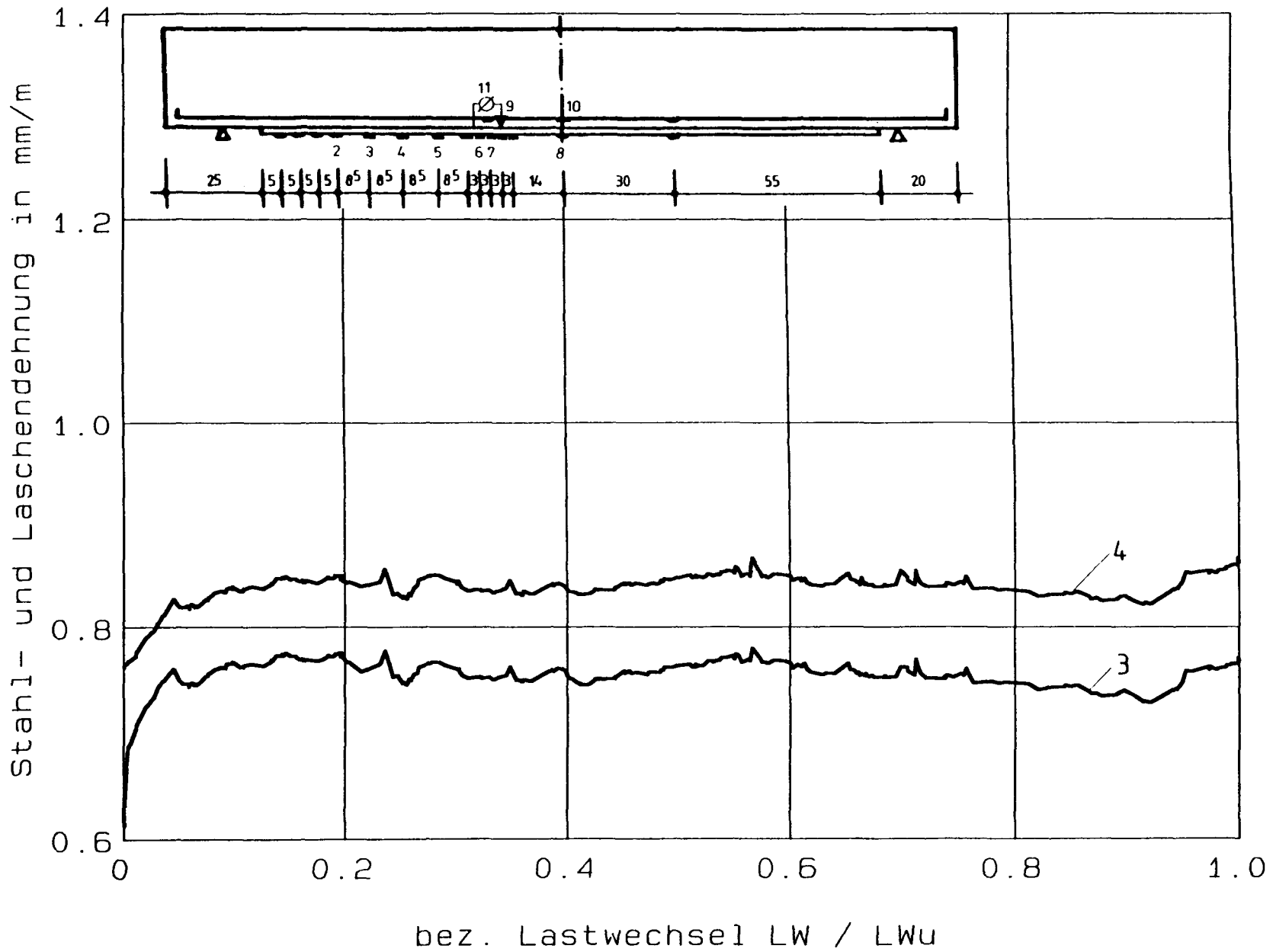


**Versuch DYN35: Pressenkraft - Lastwechsel**

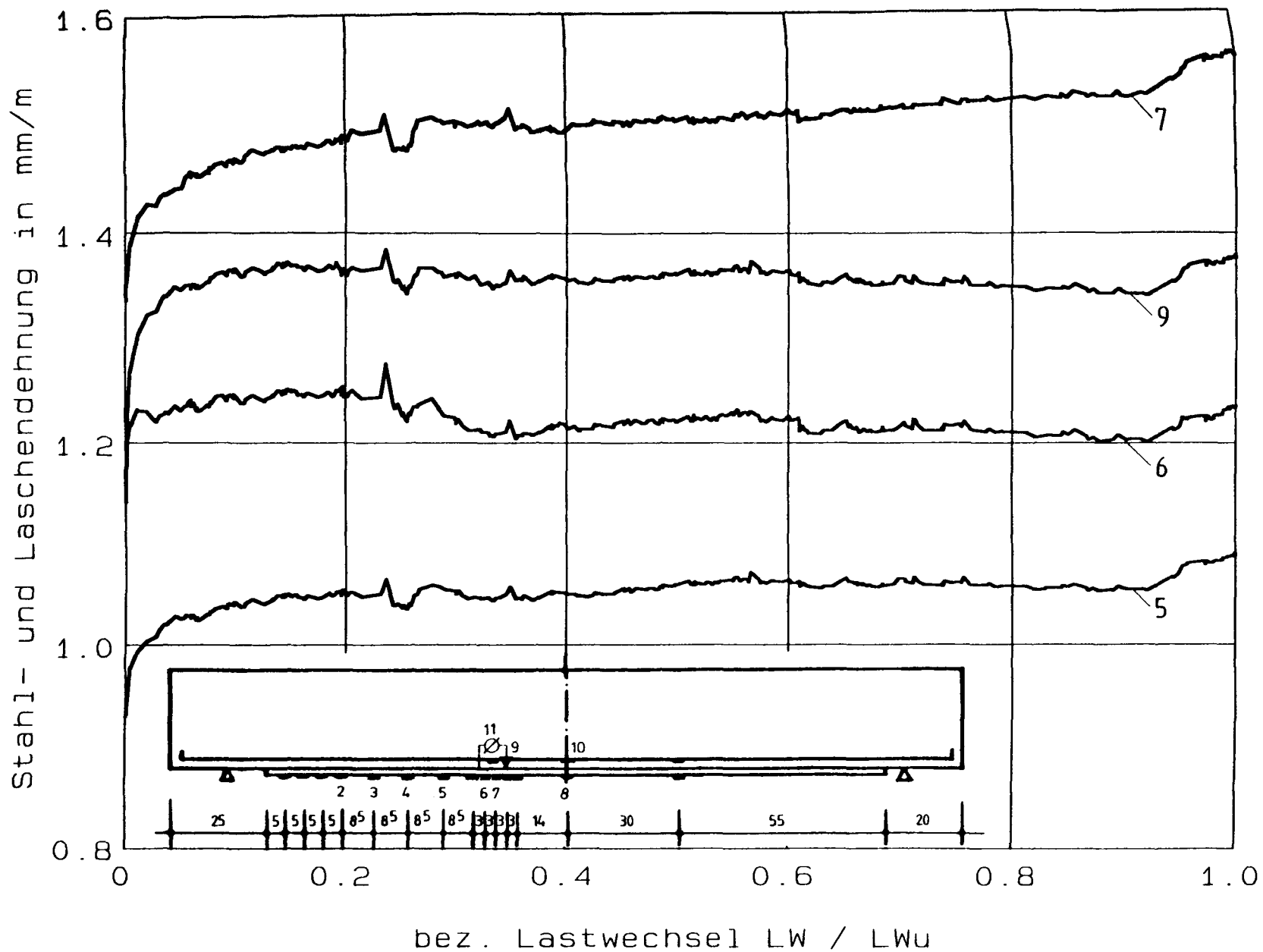


Versuch DYN35: Durchbiegung - Lastwechsel

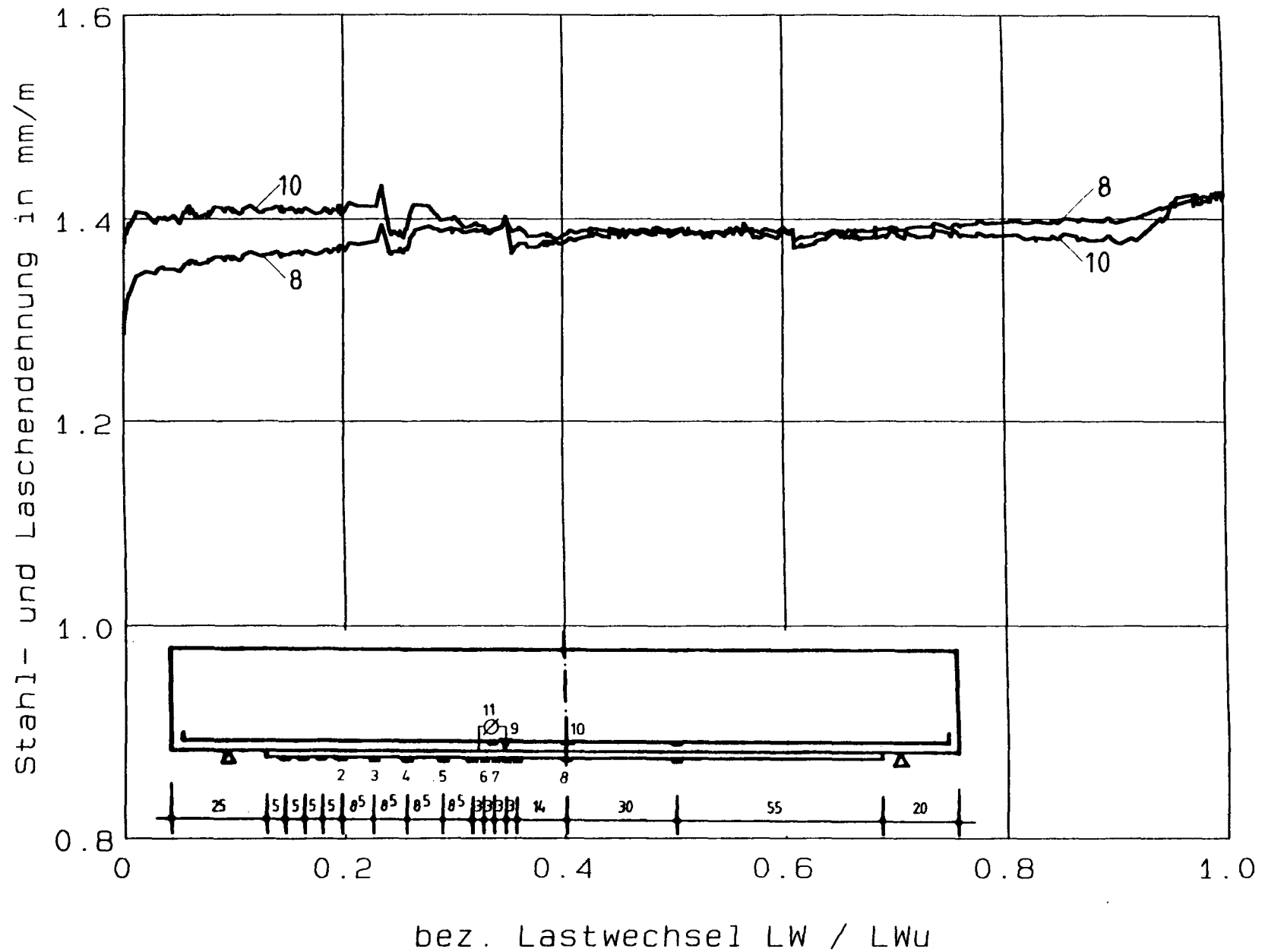


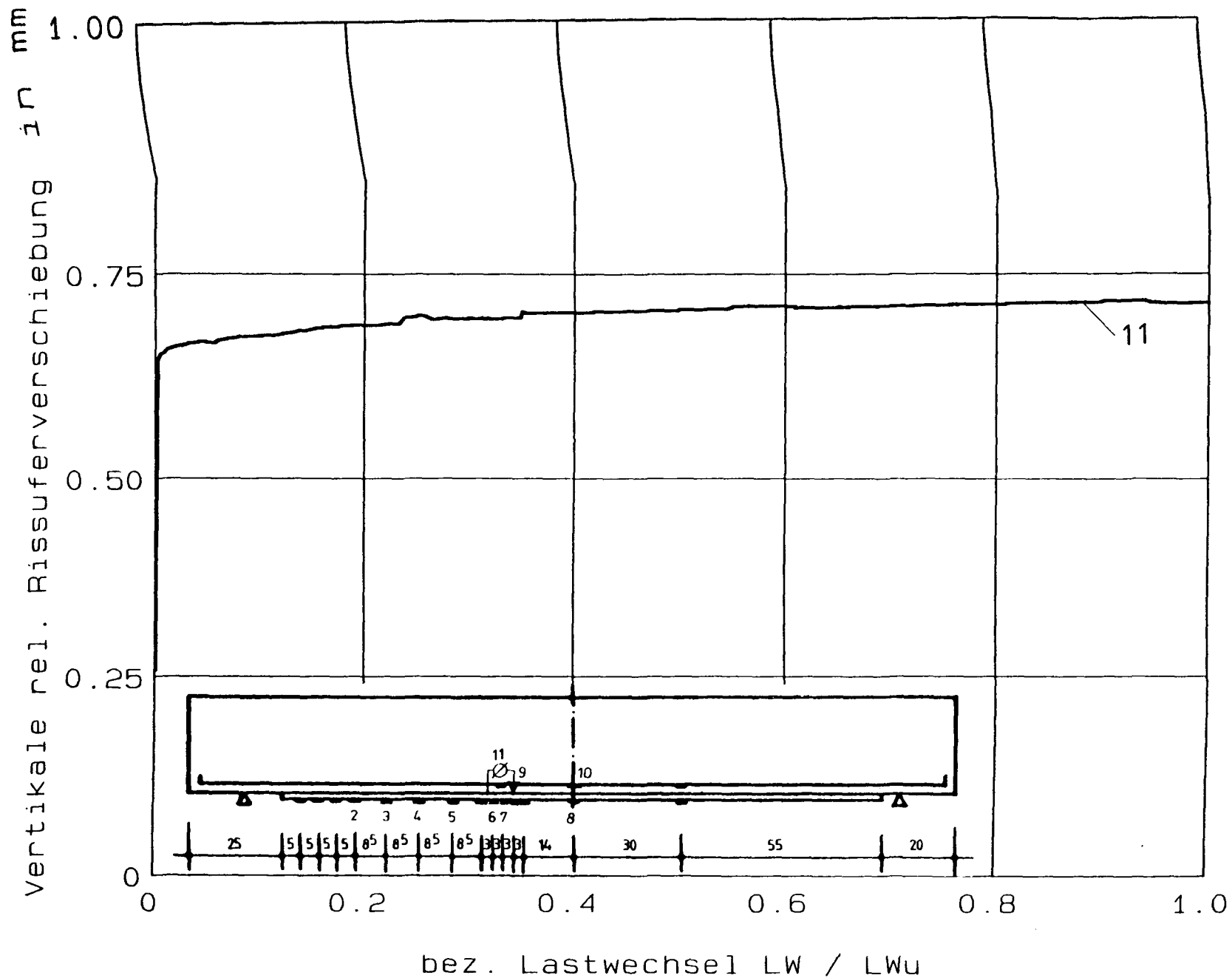


Versuch DYN35: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

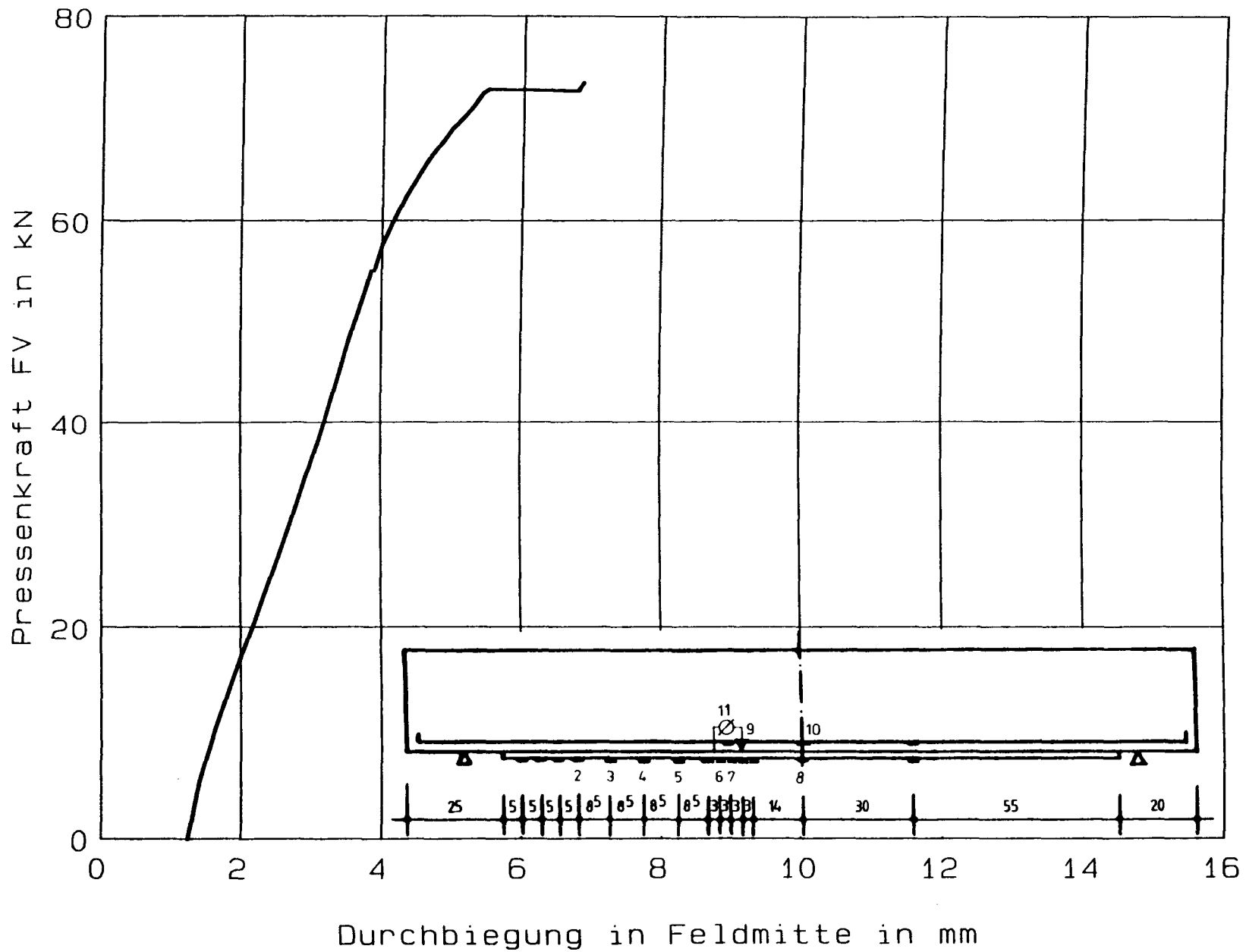


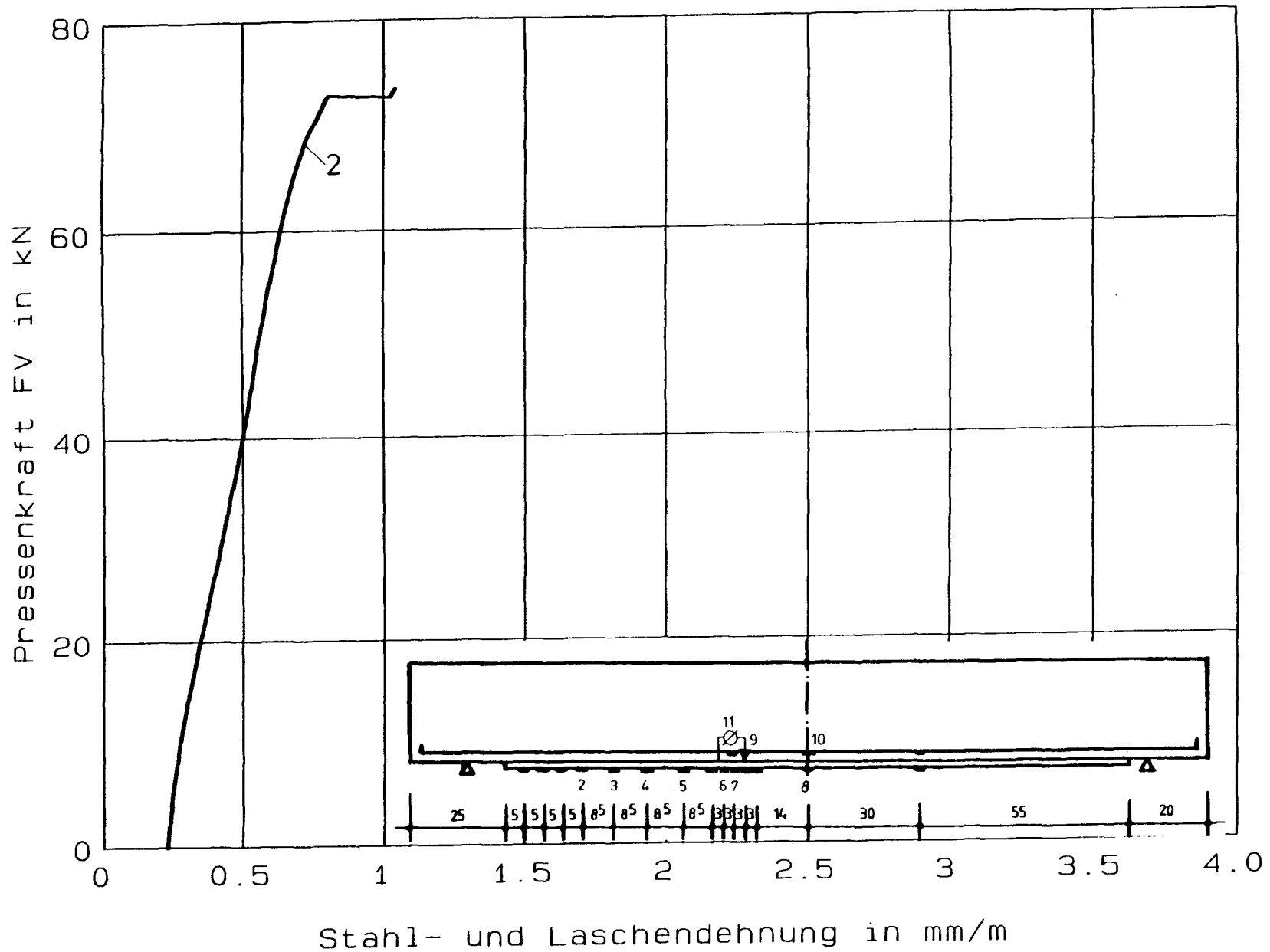
Versuch DYN35: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

**Versuch DYN35: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel**

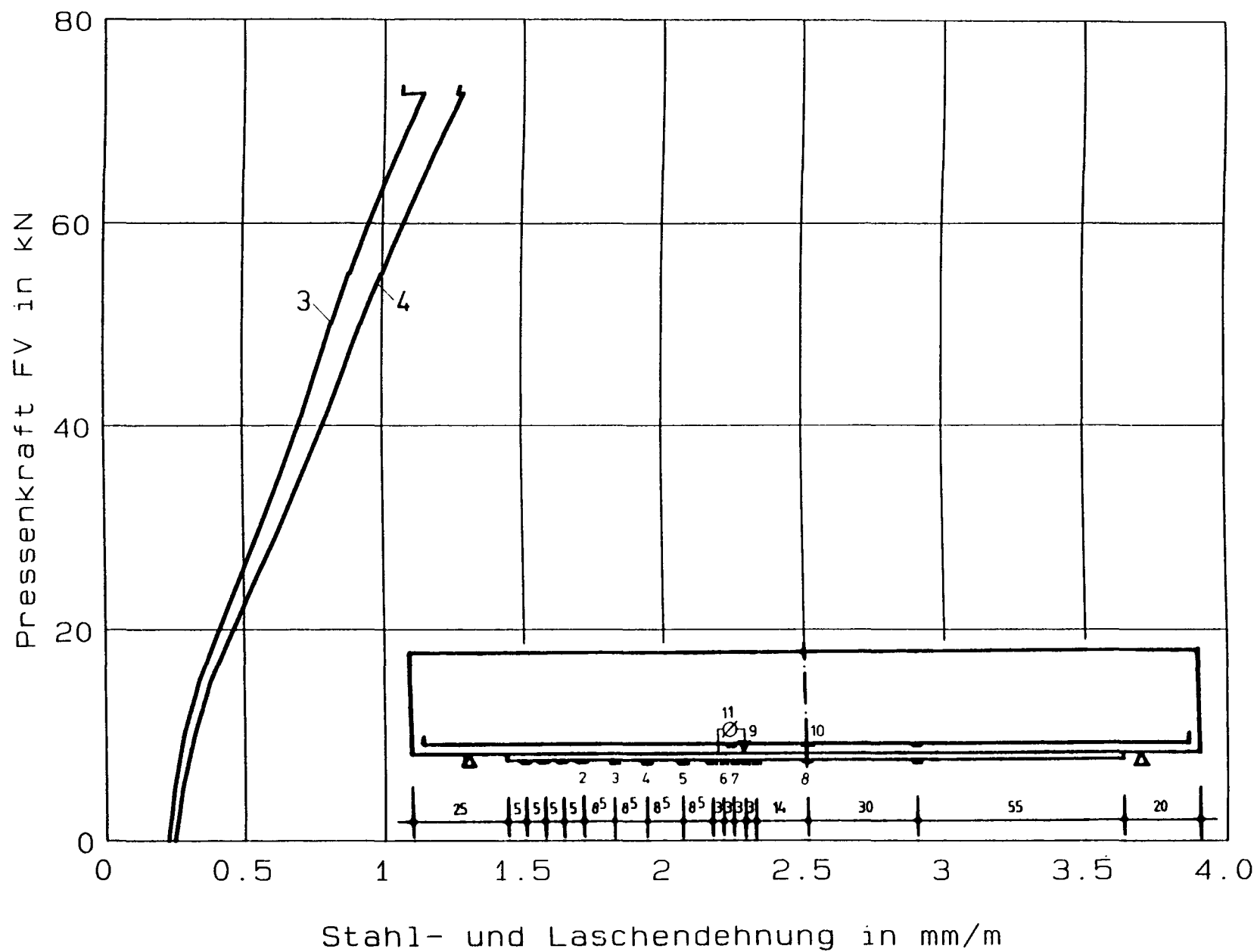


Versuch DYN35: vertikale rel. Rißufernverschiebung - Lastwechsel

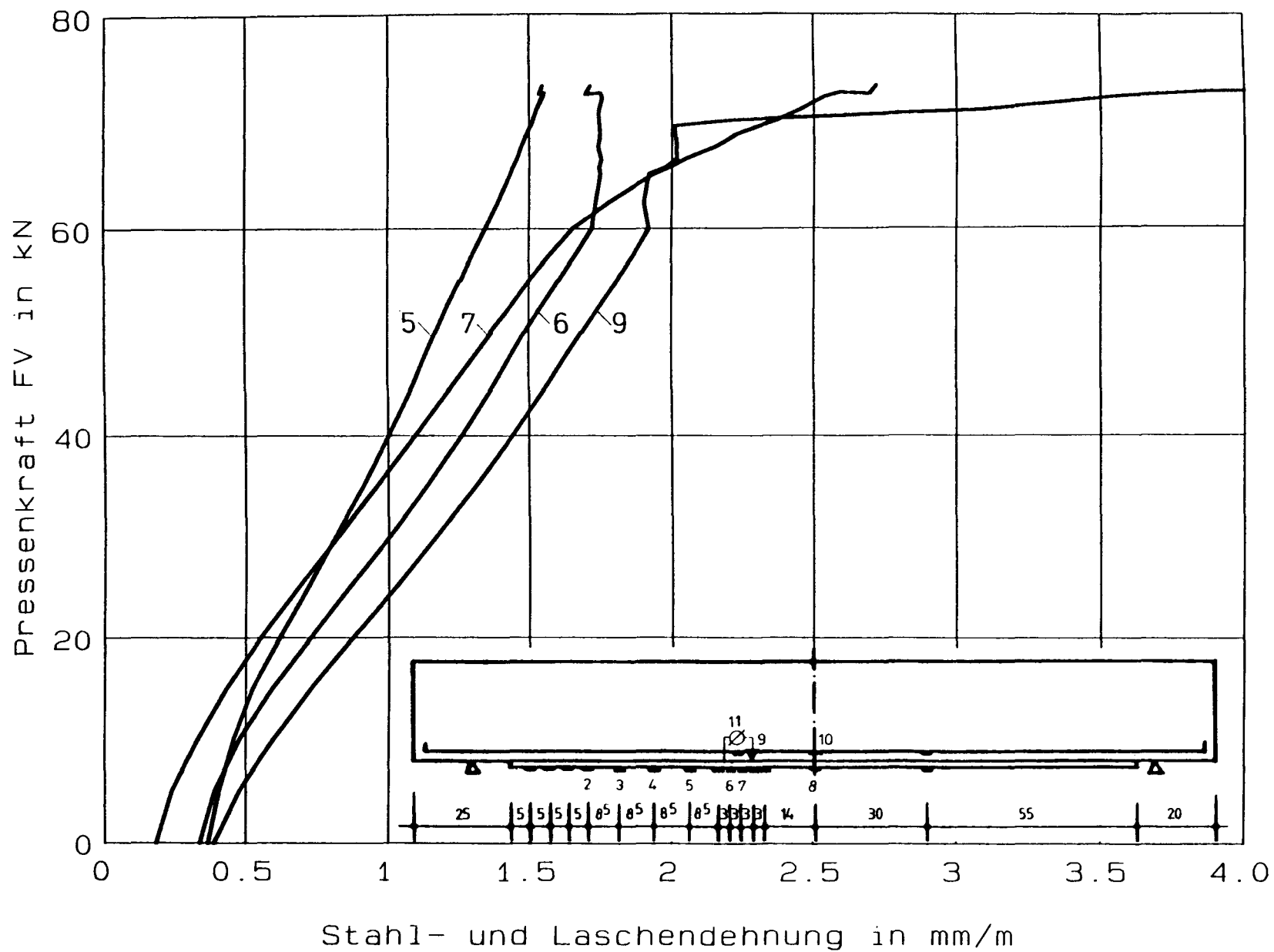
**Versuch DYN35: Pressenkraft - Durchbiegung**



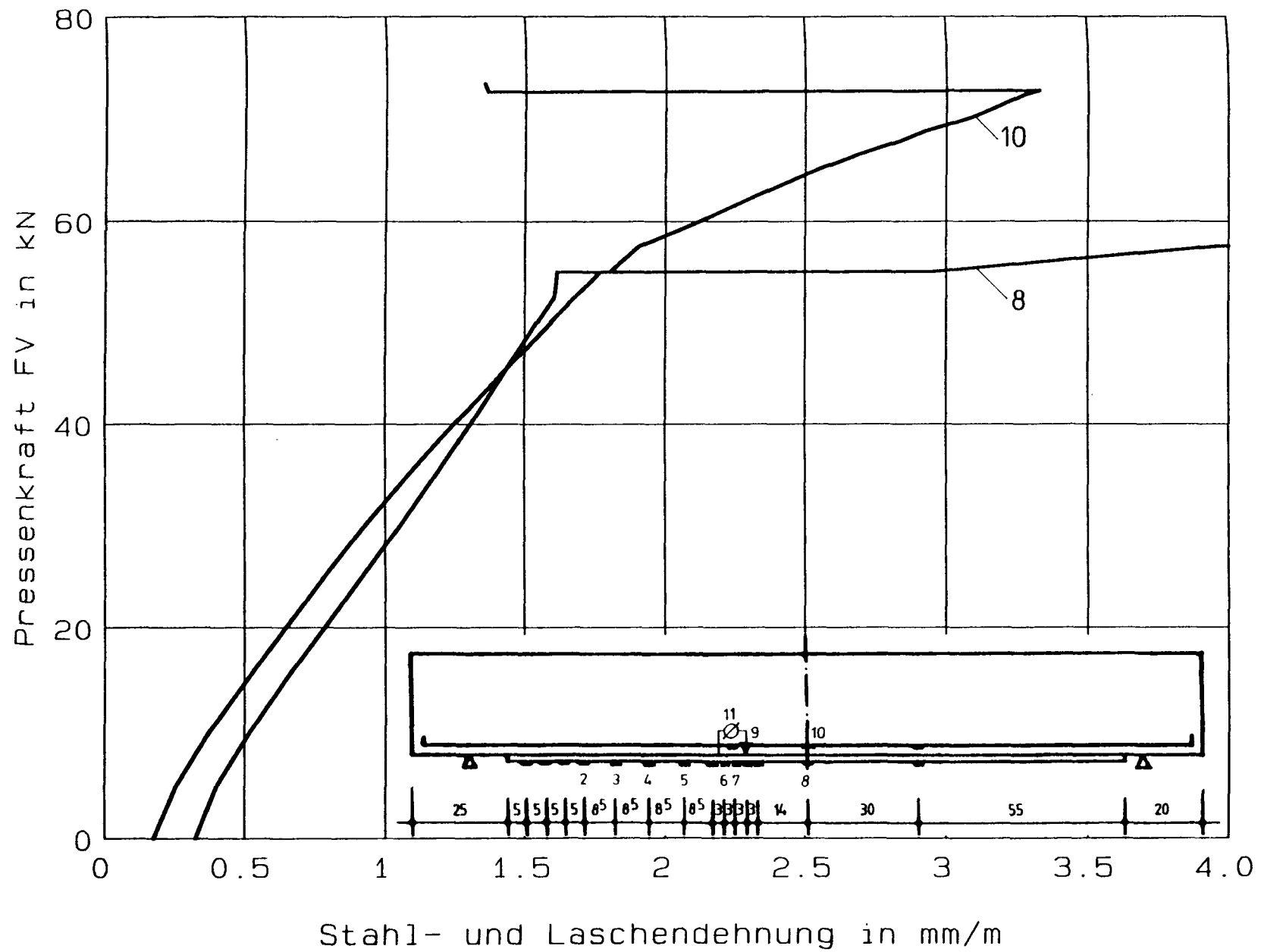
Versuch DYN35: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik (Restfestigkeit)



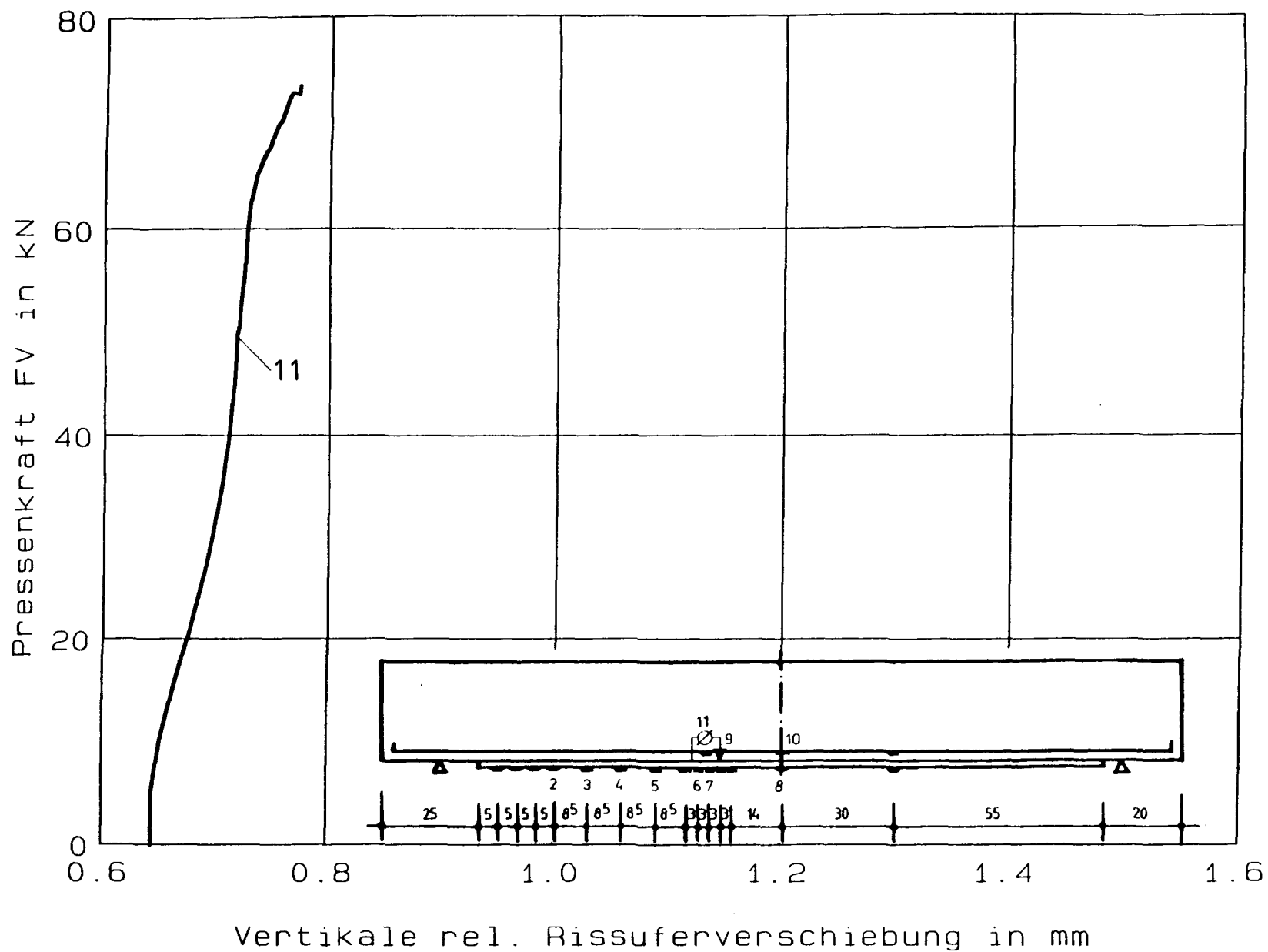
Versuch DYN35: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik (Restfestigkeit)



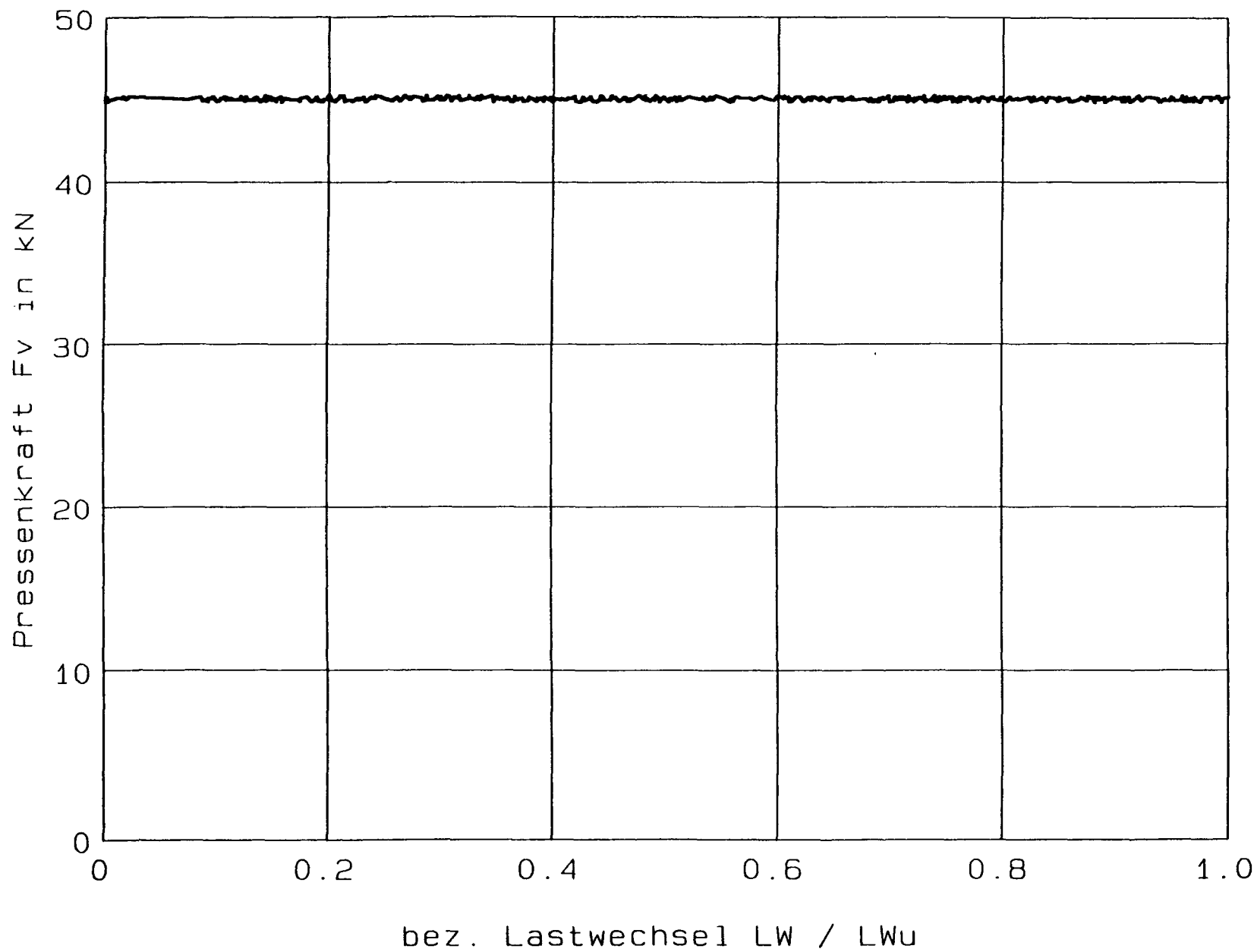
Versuch DYN35: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik (Restfestigkeit)

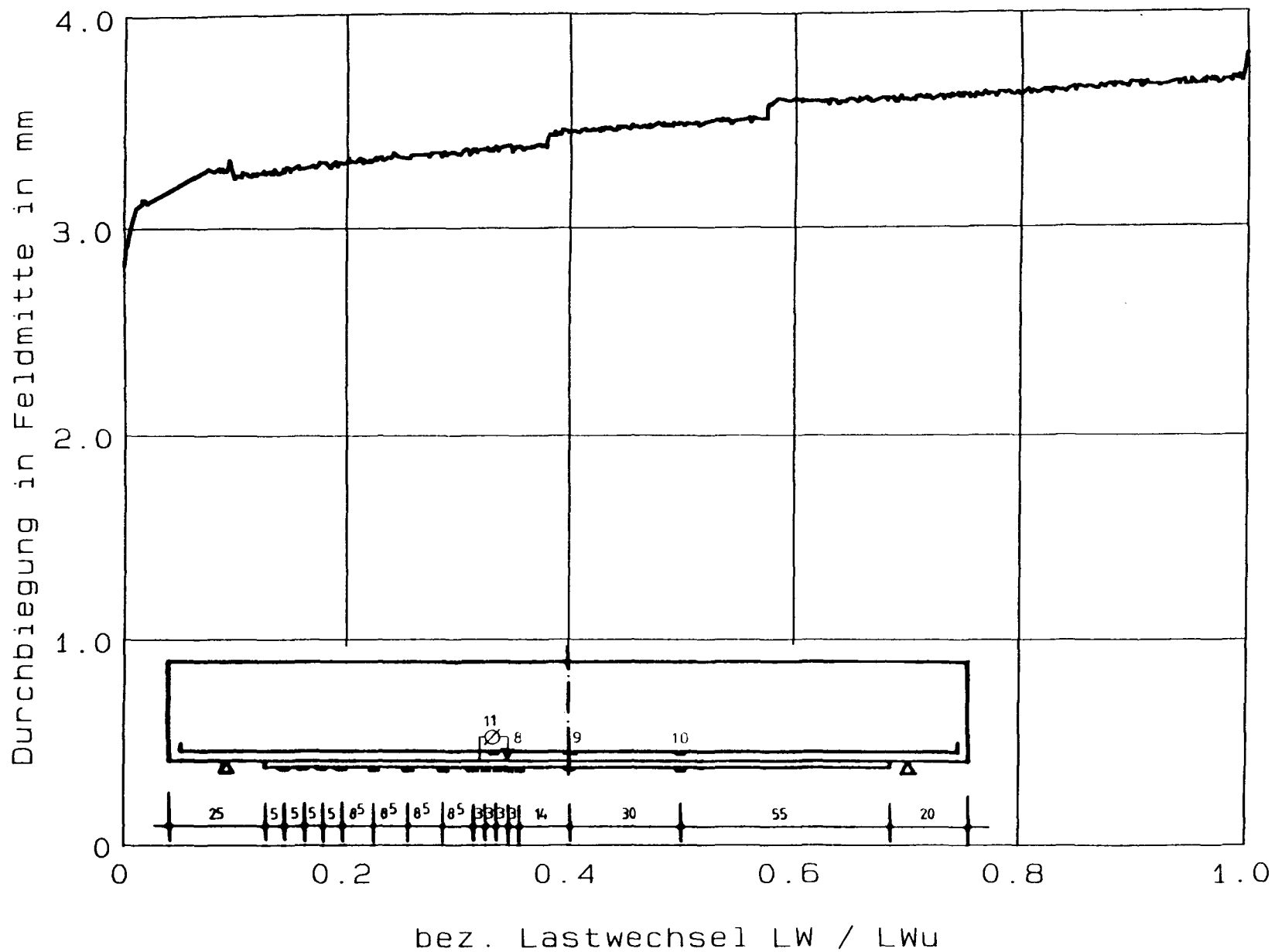


Versuch DYN35: Pressenkraft - Stahl- und Laschendechnik (Restfestigkeit)



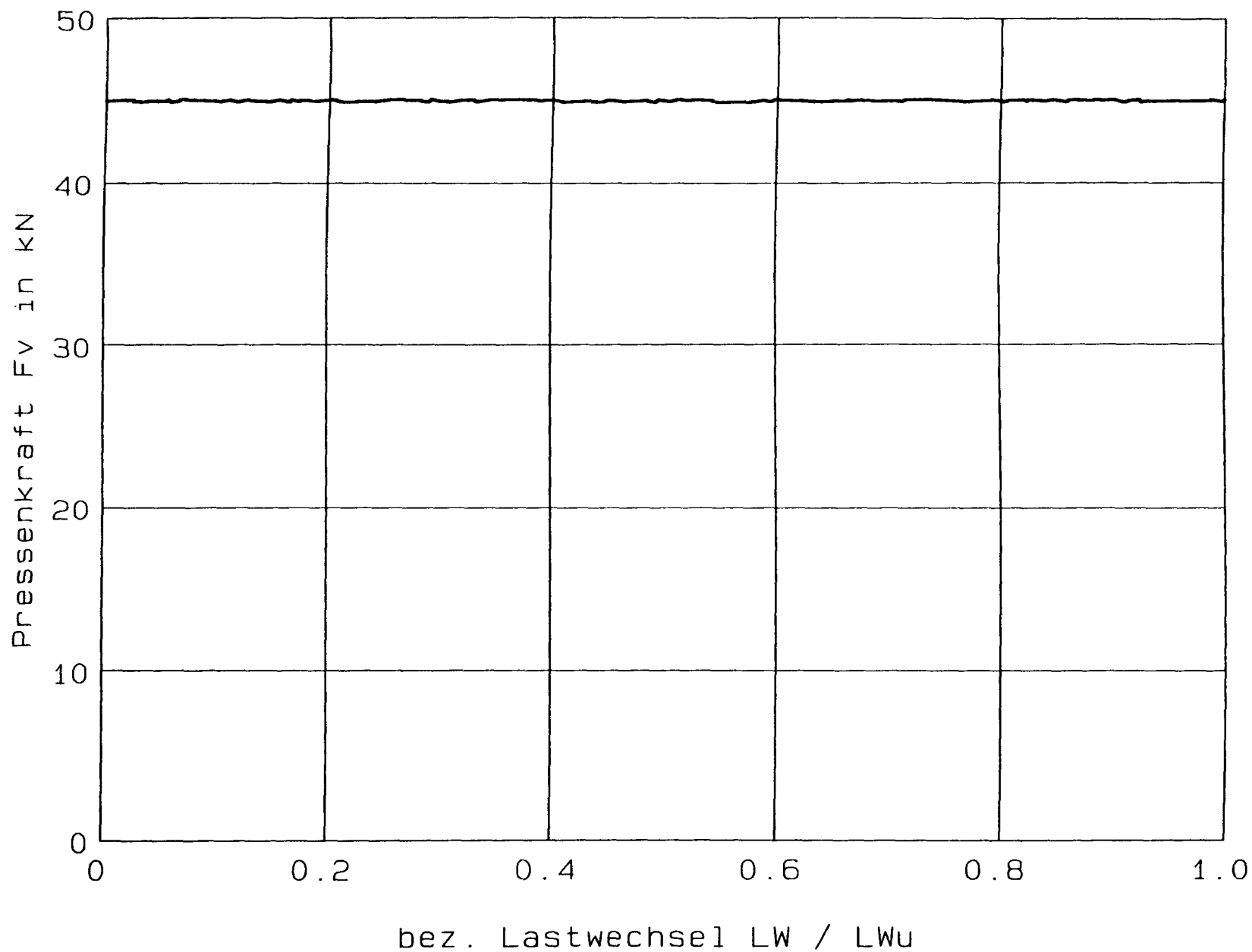
Versuch DYN35: Pressenkraft - vertikale relative Rißuferverschiebung

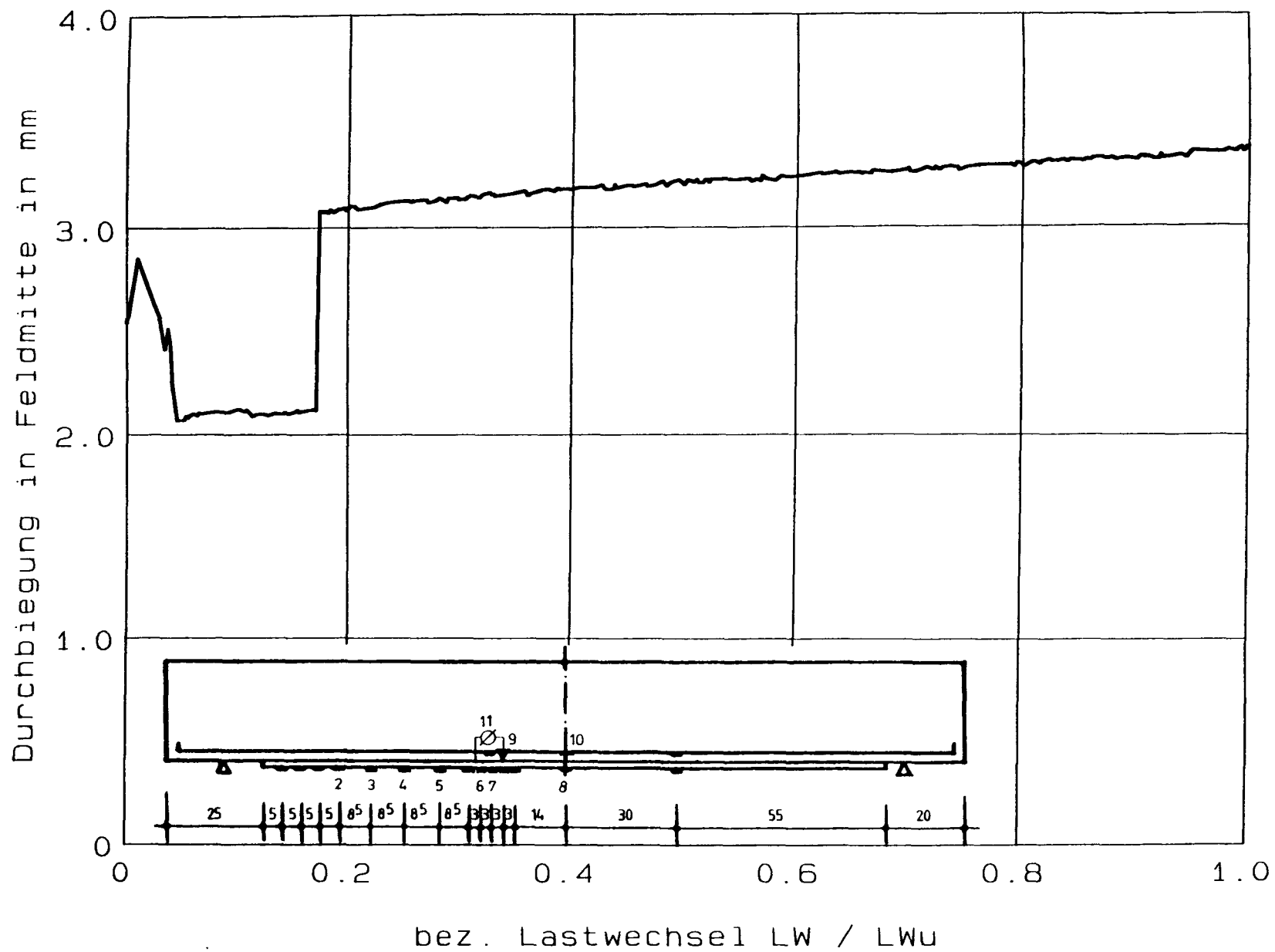
**Versuch DYN37: Pressenkraft - Lastwechsel**



Versuch DYN37: Durchbiegung - Lastwechsel

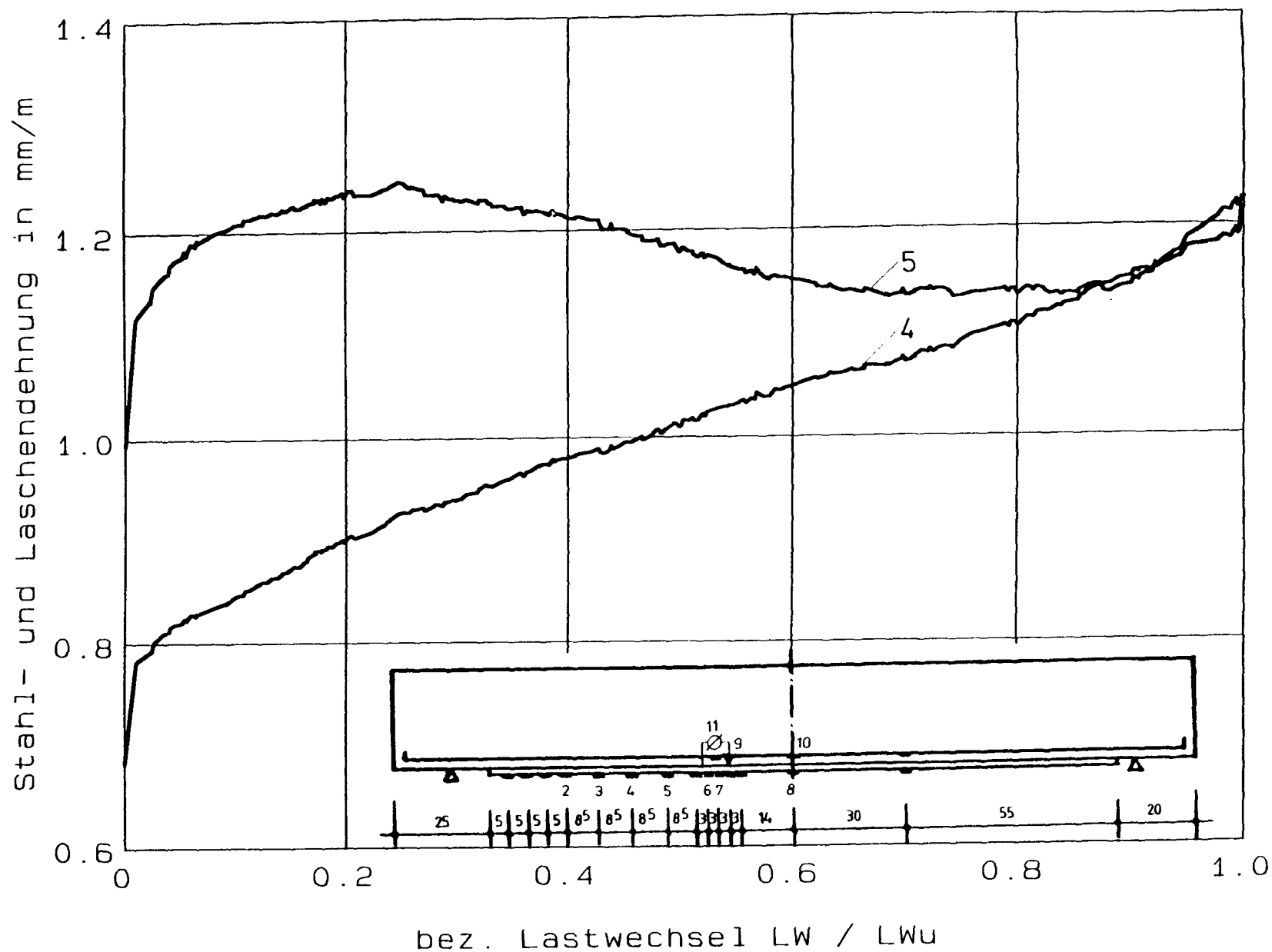


**Versuch DYN38: Pressenkraft - Lastwechsel**



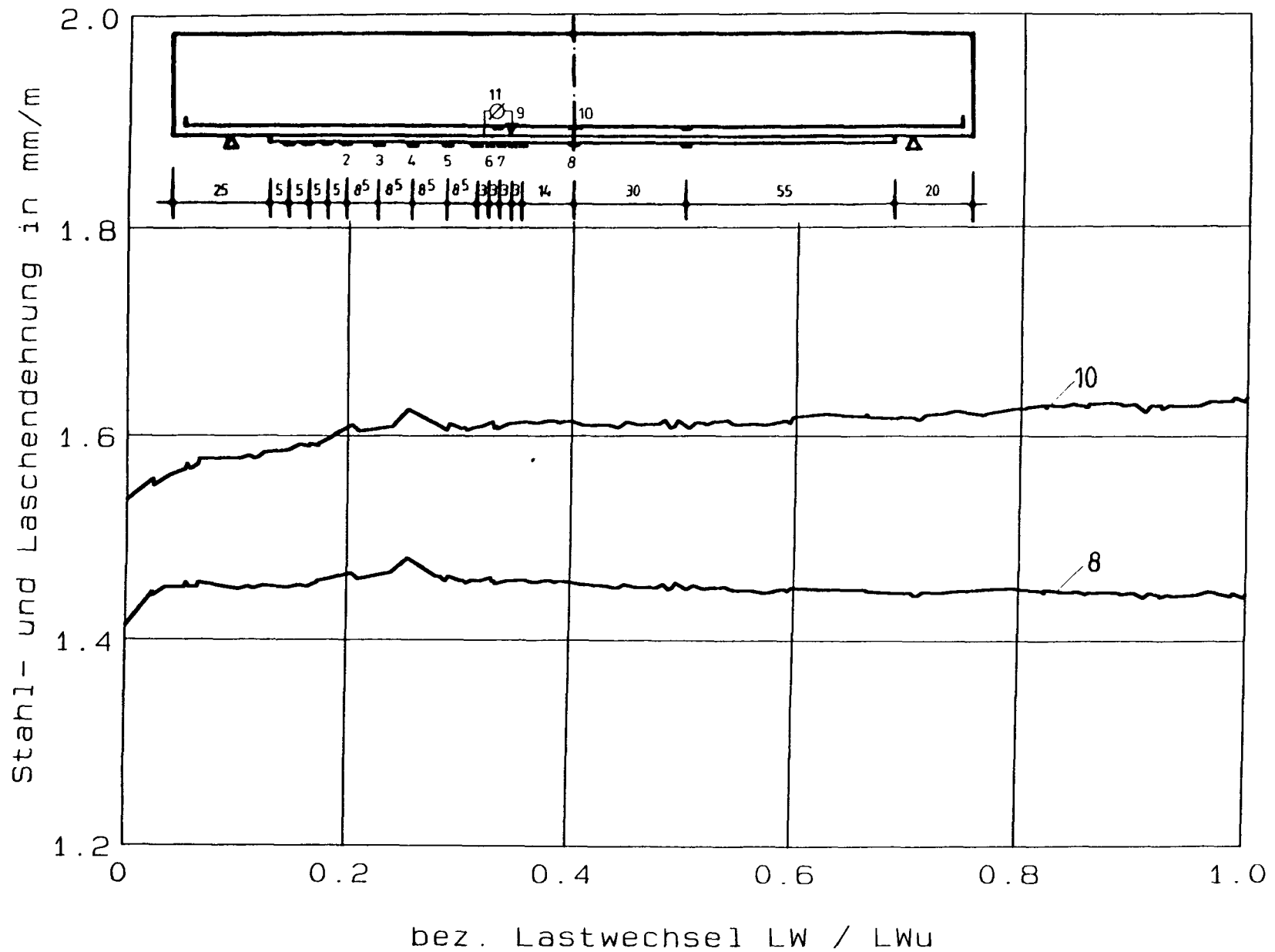
Versuch DYN38: Durchbiegung - Lastwechsel



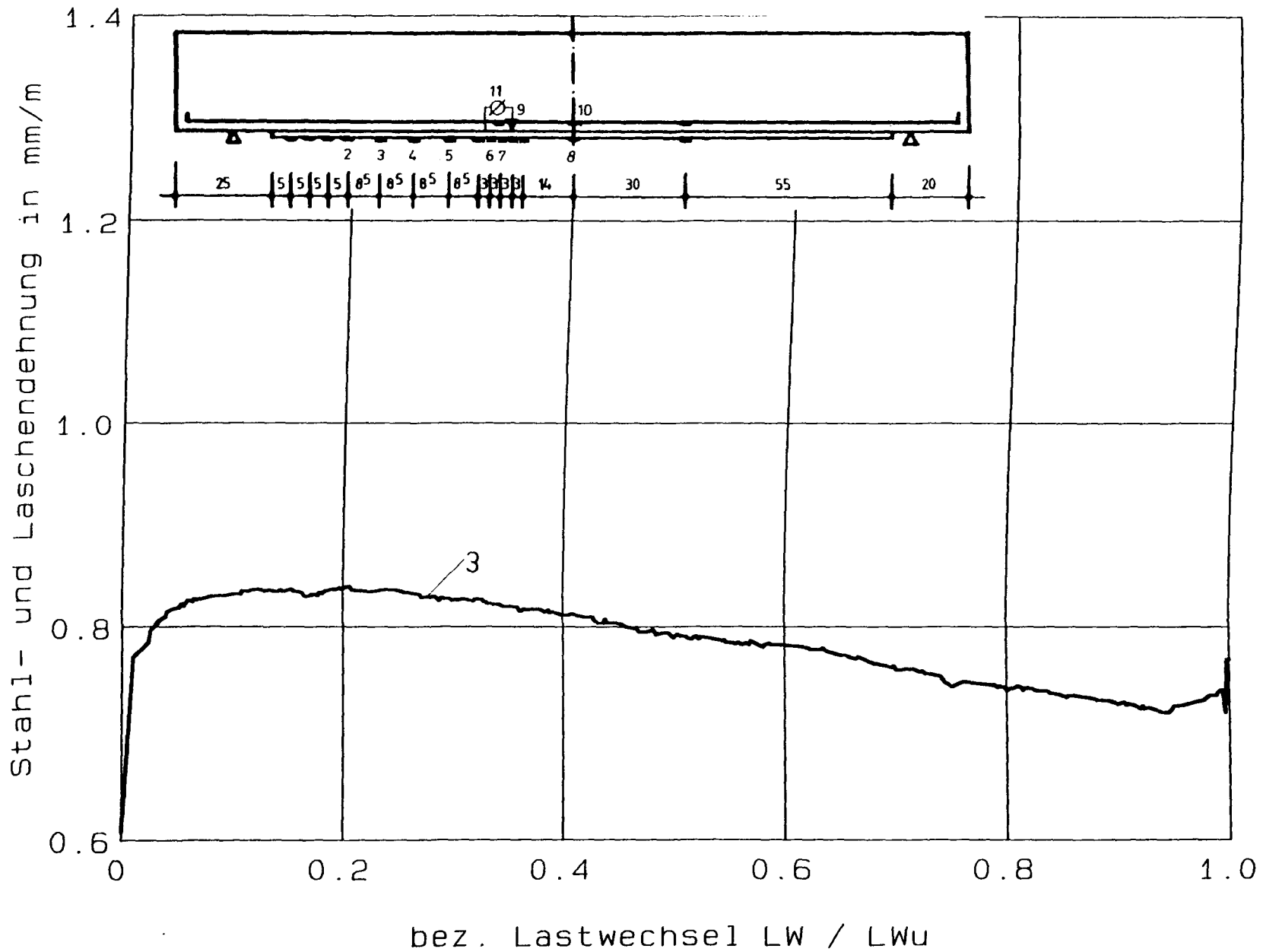


Versuch DYN38: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

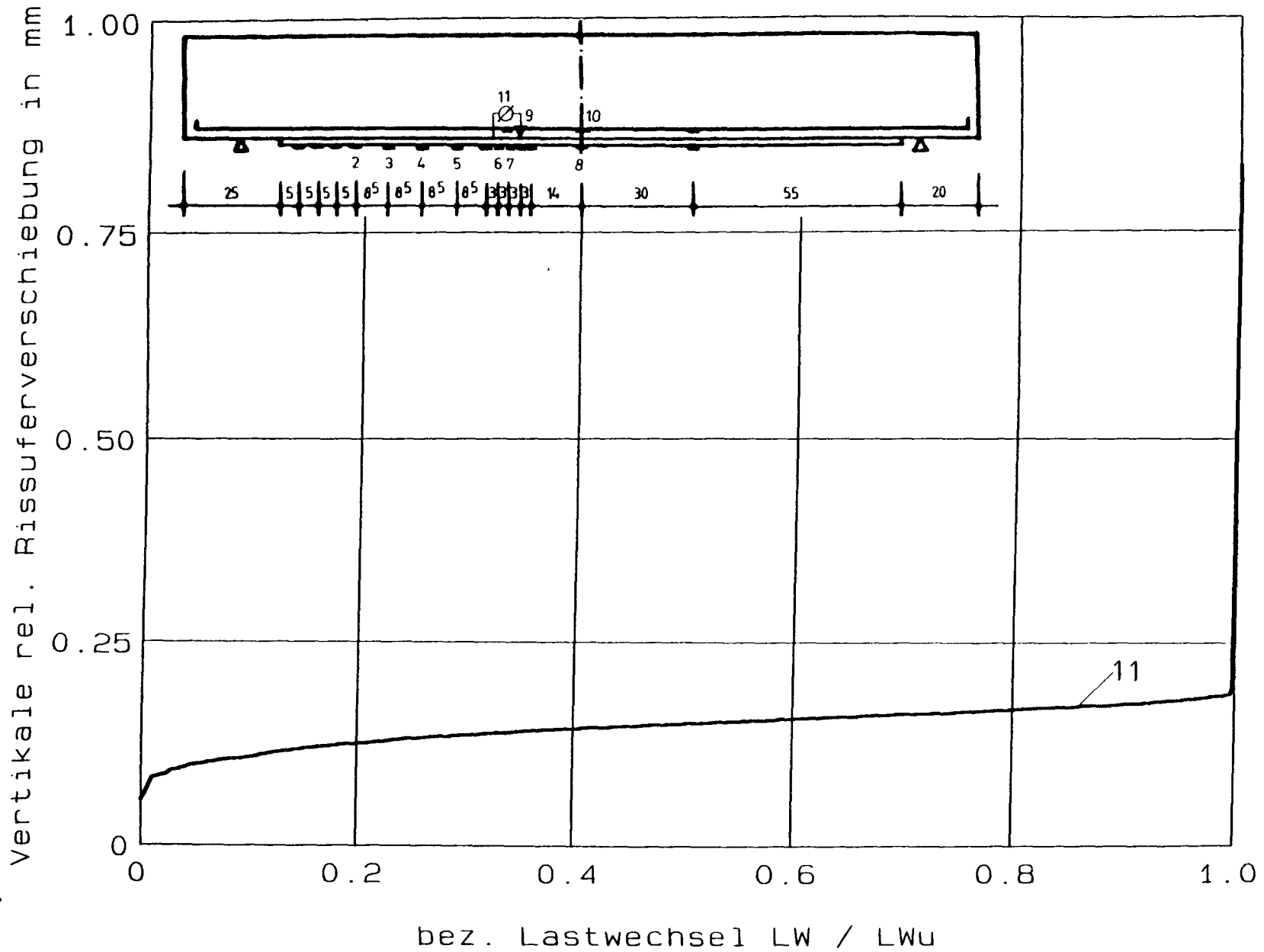


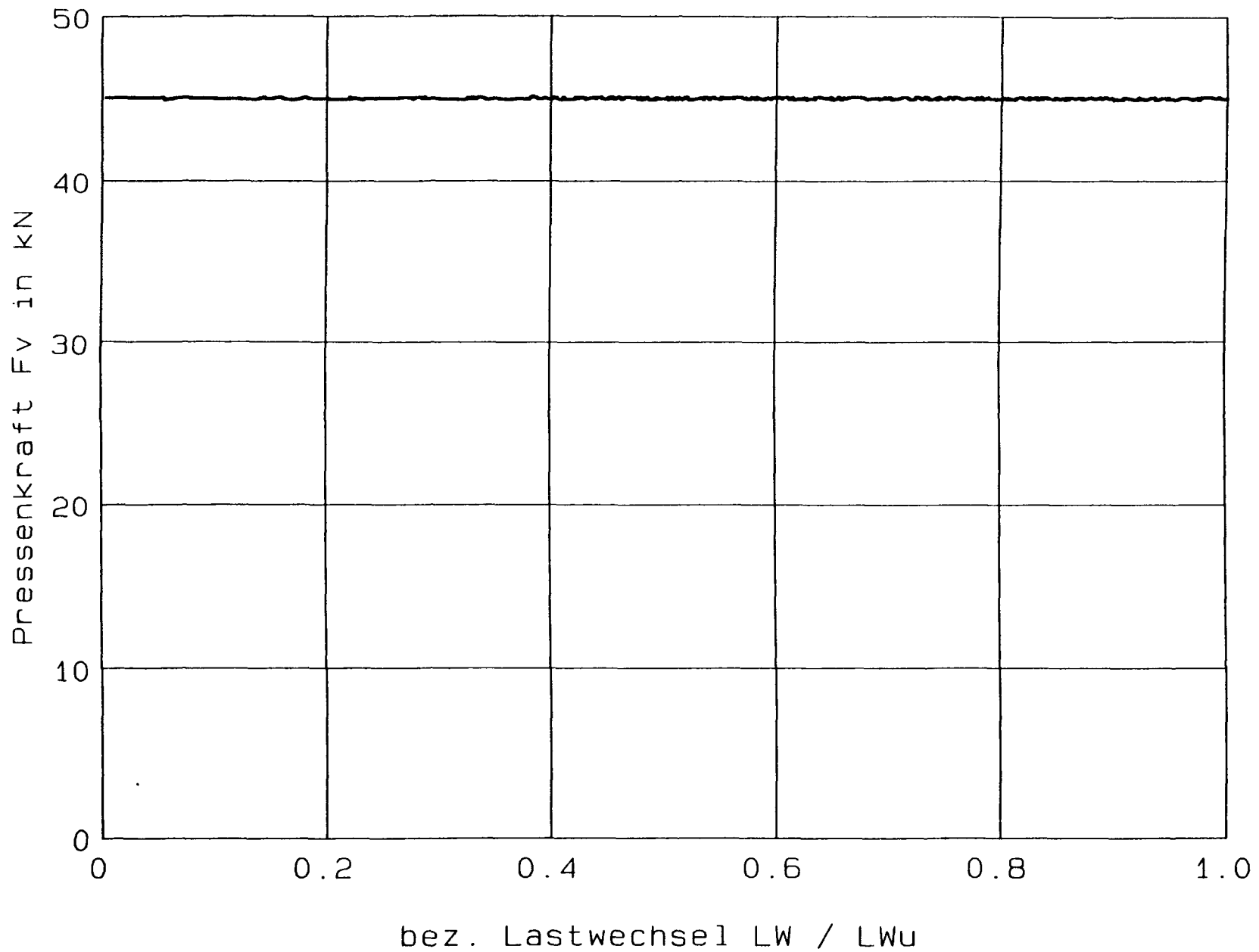


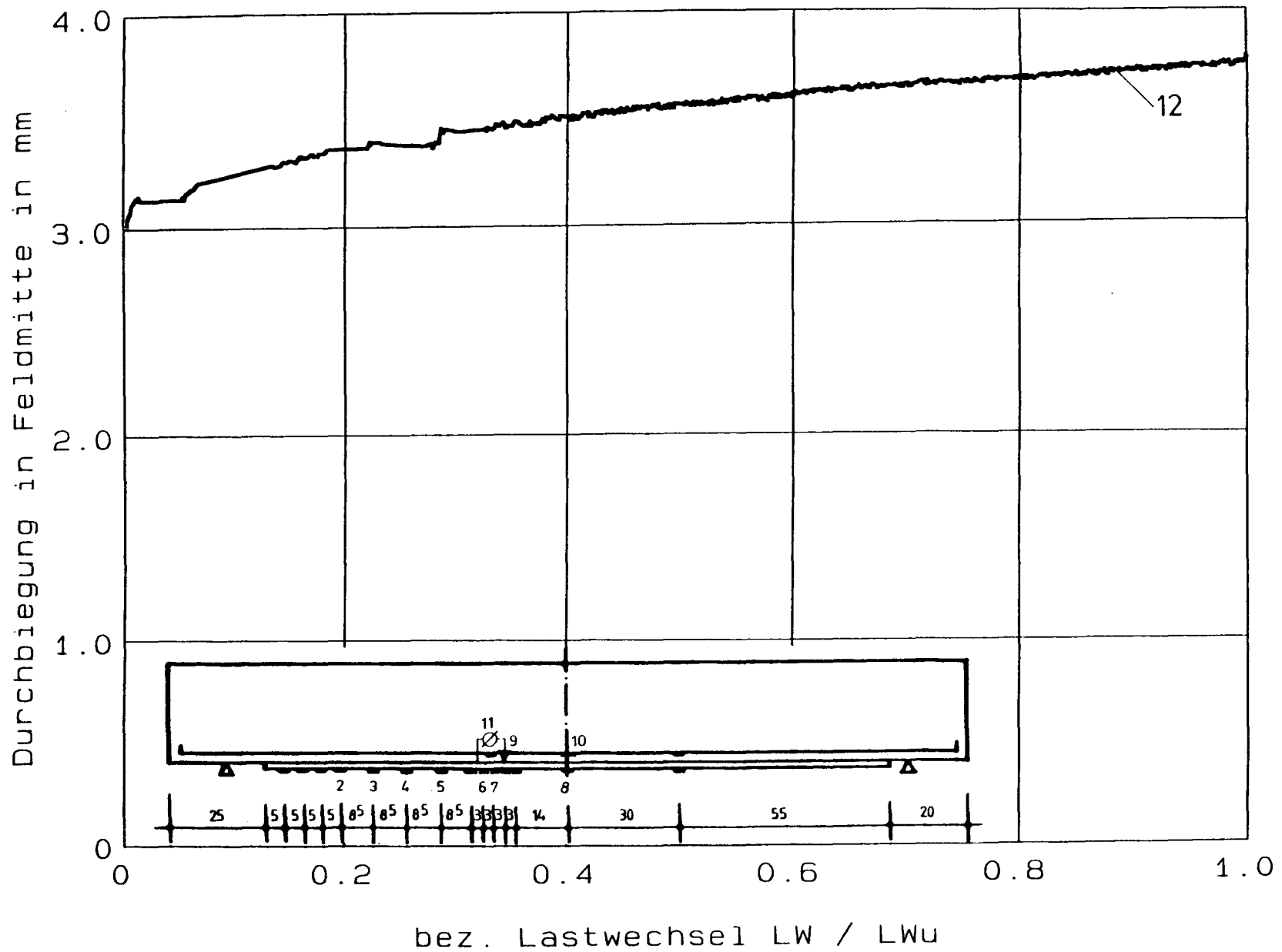
Versuch DYN38: Stahl- und Laschendeckung - Lastwechsel

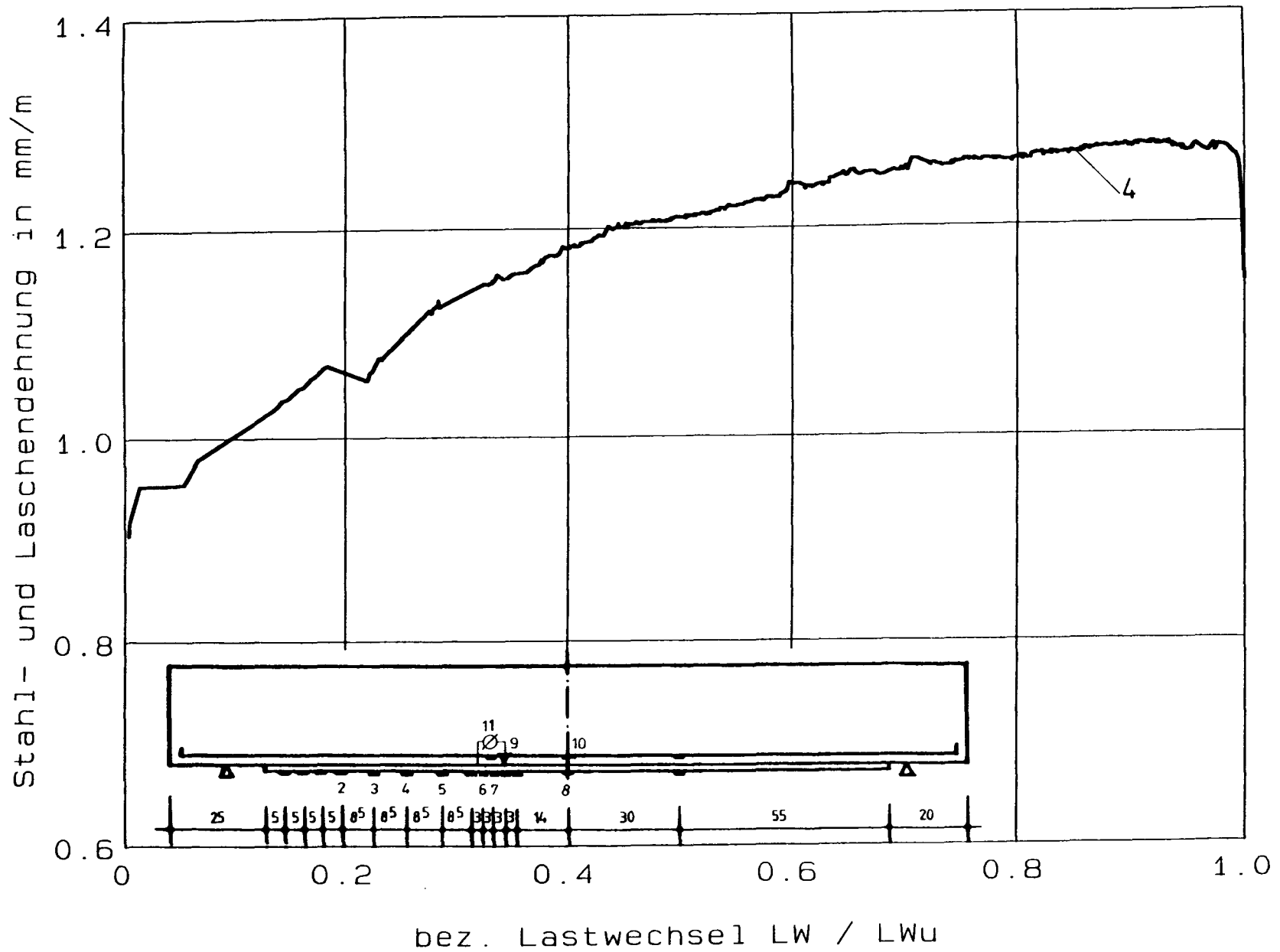


Versuch DYN38: Stahl- und Laschendechnik - Lastwechsel

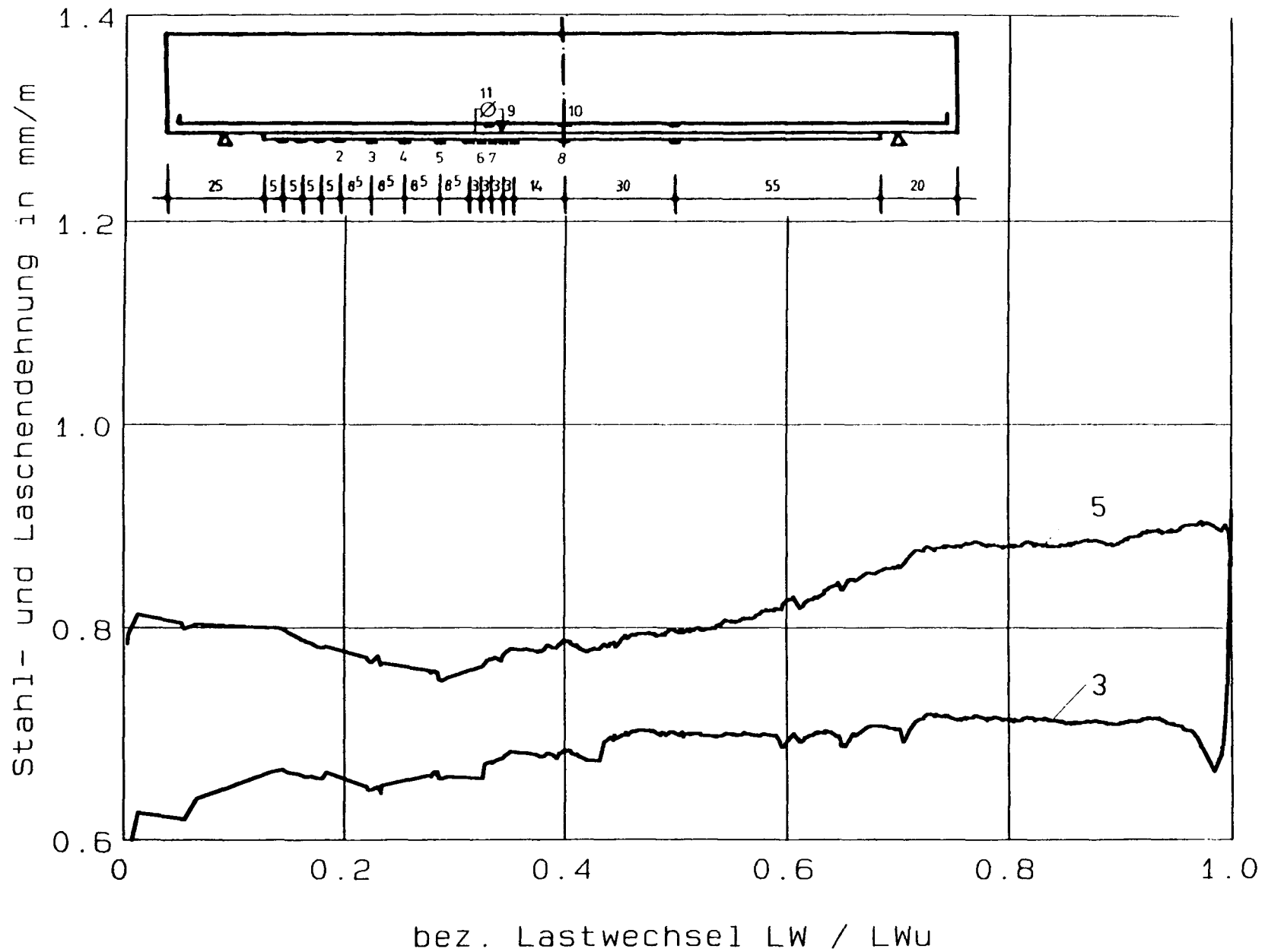


**Versuch DYN39: Pressenkraft - Lastwechsel**

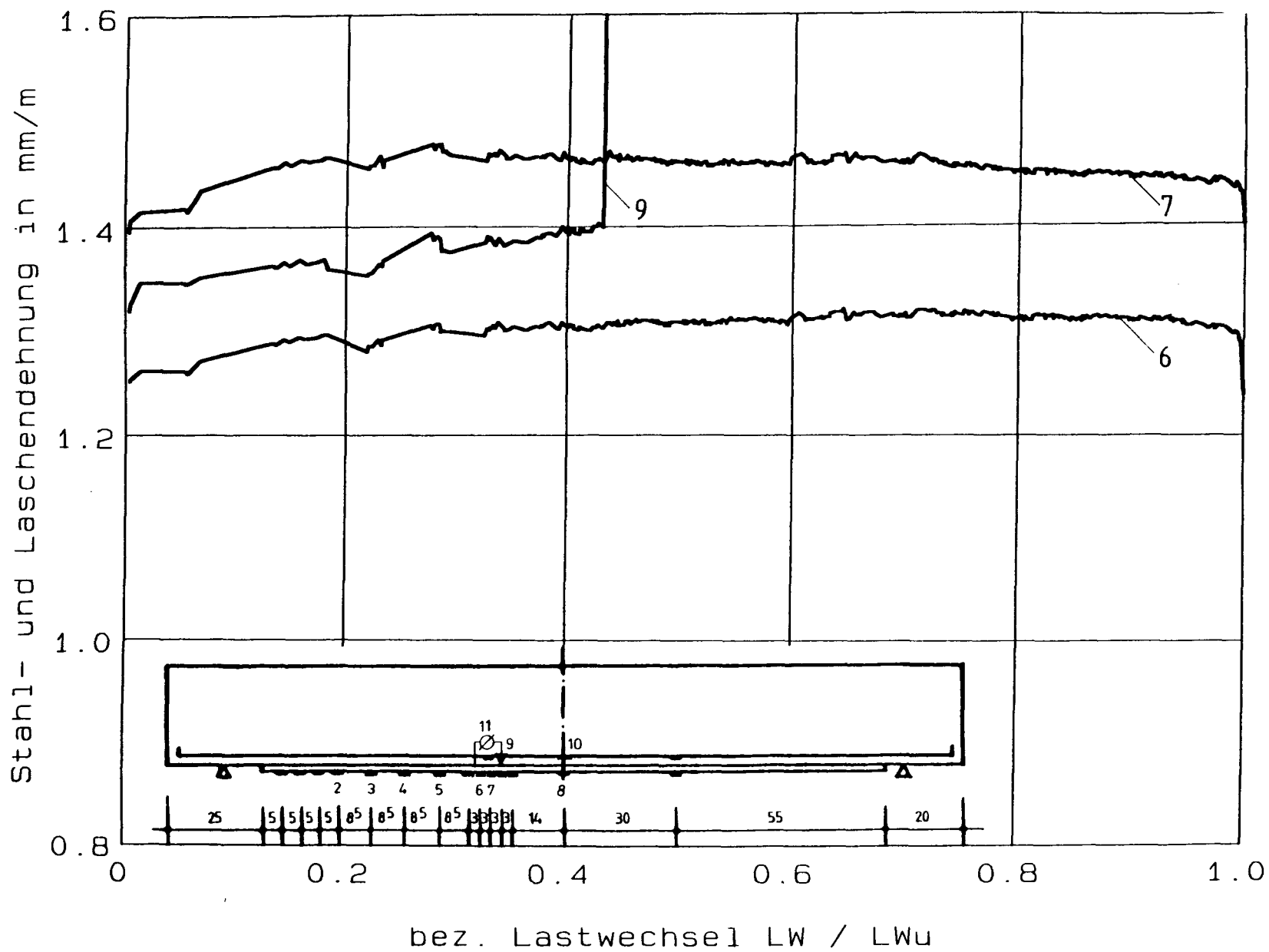




Versuch DYN39: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

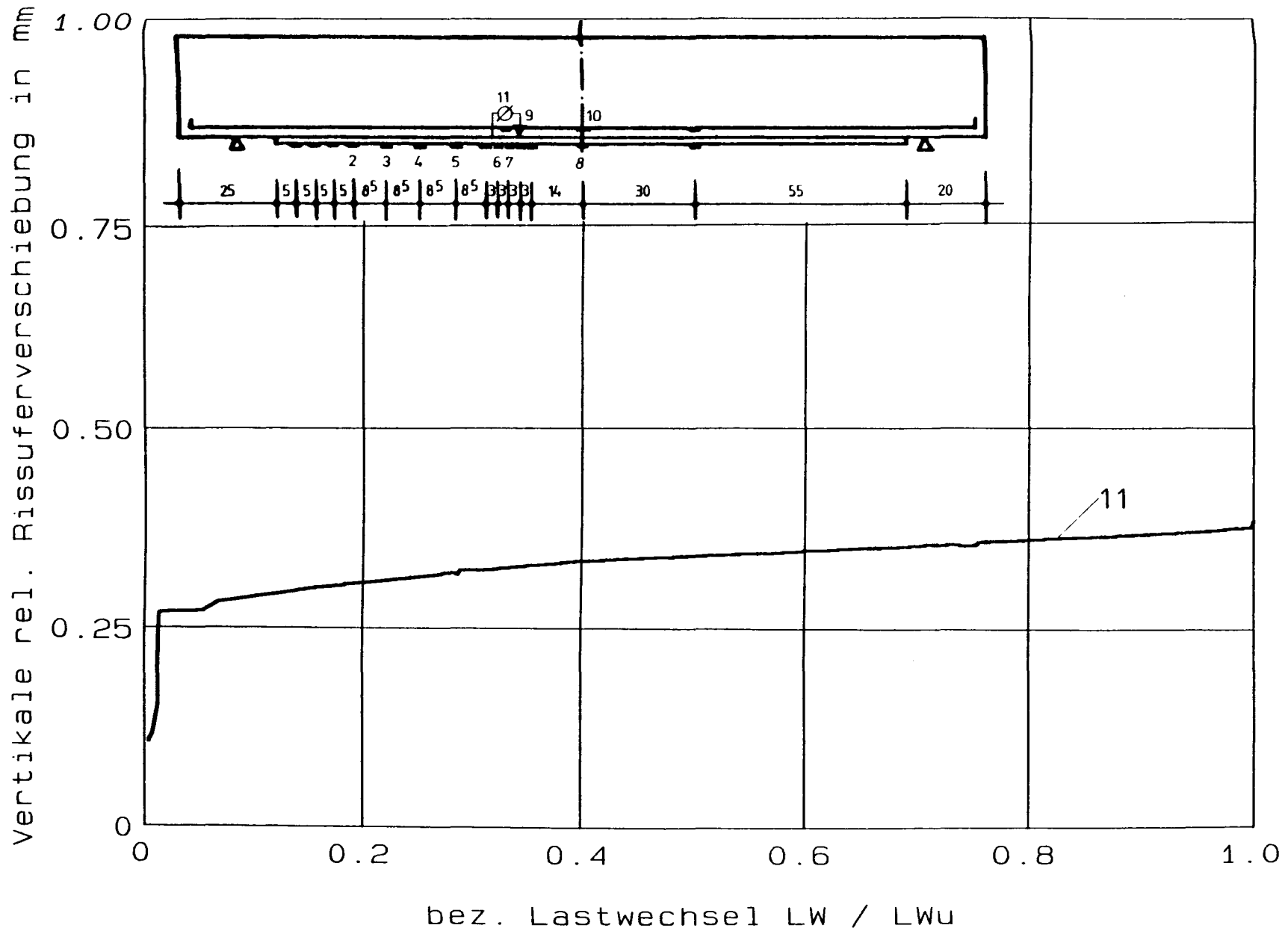


Versuch DYN39: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel

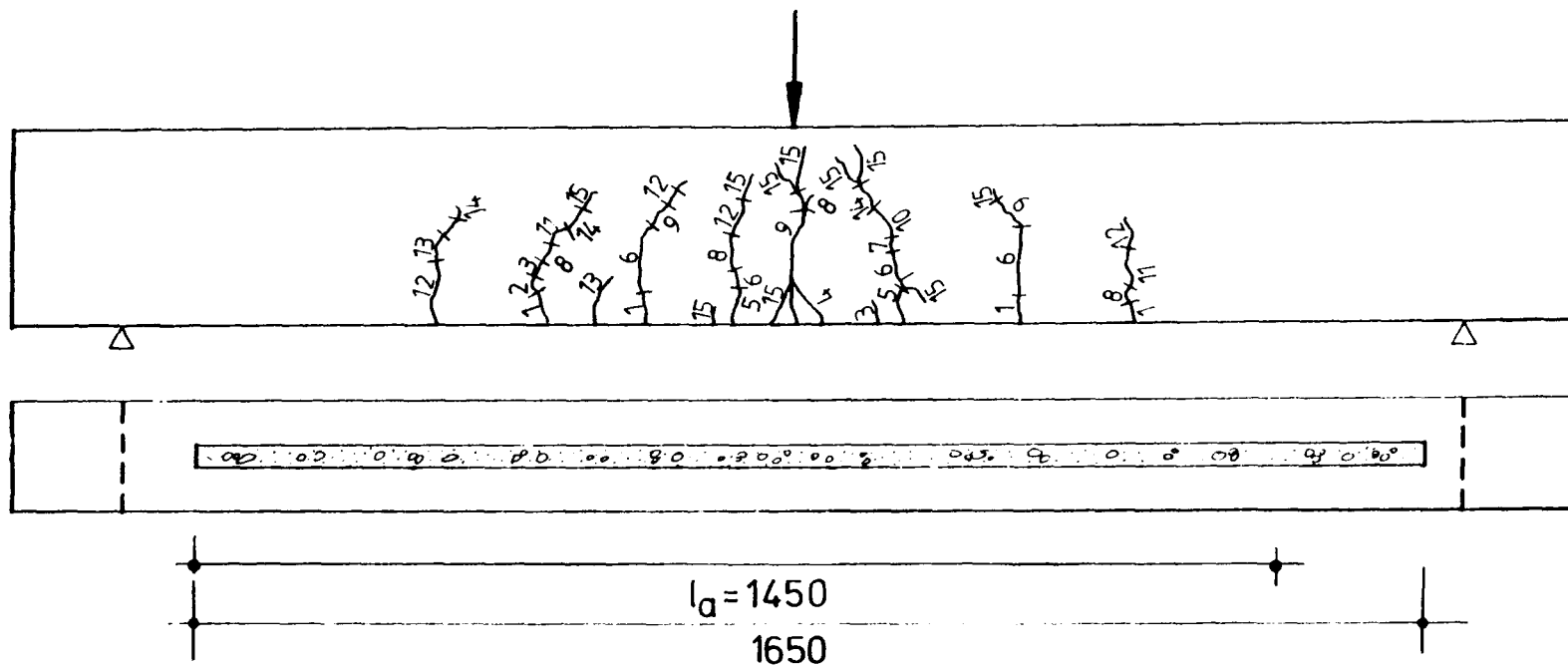


Versuch DYN39: Stahl- und Laschendehnung - Lastwechsel





Versuch DYN39: vertikale relative Rißuerverschiebung - Lastwechsel



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		22,0	
2		24,0	
3		26,0	
4		30,0	
5		32,0	
6		34,0	
7		36,0	
8		38,0	

Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9		40,0	
10		42,0	
11		46,0	
12		48,0	
13		50,0	
14		58,0	
15		60,0	nach Bruch

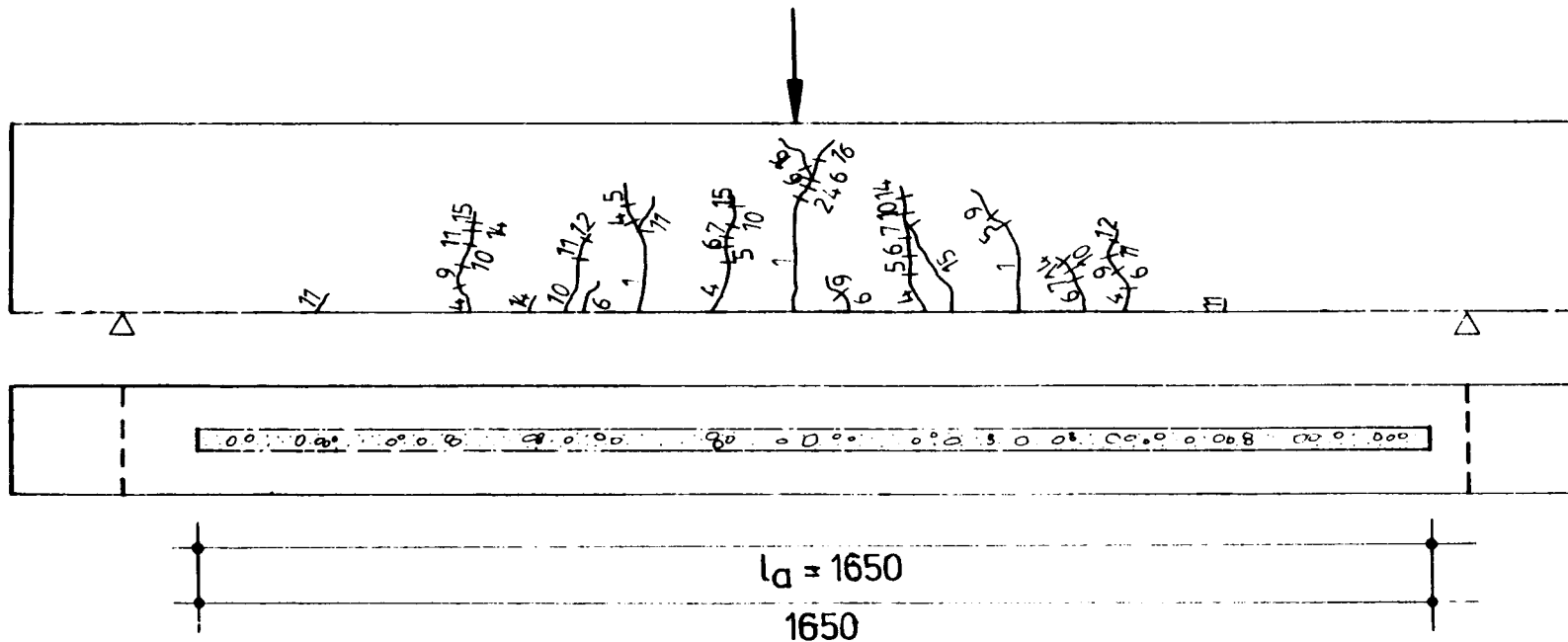


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch STAT1: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		20,0	
2		24,0	
3		28,0	
4		32,0	
5		36,0	
6		40,0	
7		42,0	
8		44,0	

Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9		46,0	
10		48,0	
11		50,0	
12		52,0	
13		54,0	
14		56,0	
15		58,0	
16		60,0	nach Bruch

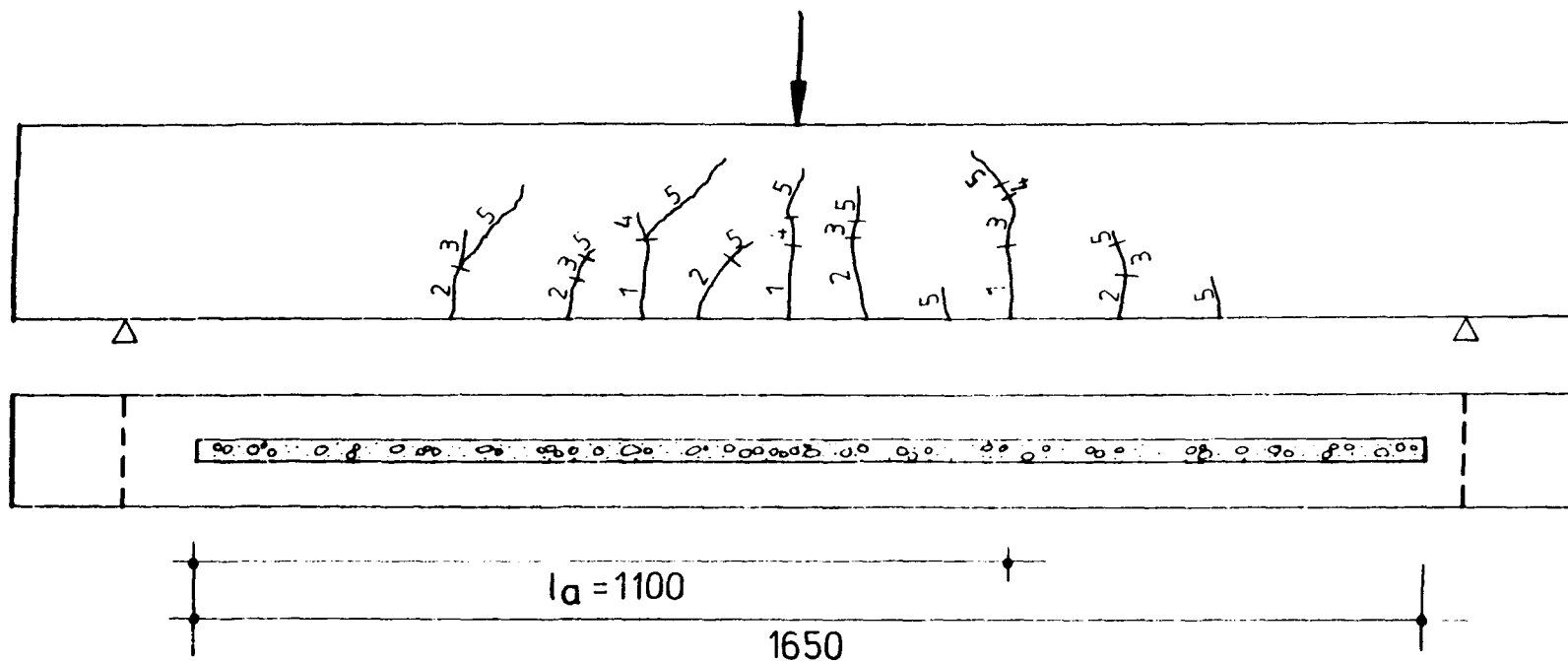


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch STAT2: RiBentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		30,0	Oberlast
2	36.200		
3	134.200		
4	290.000		
5	2.000.000		nach Bruch

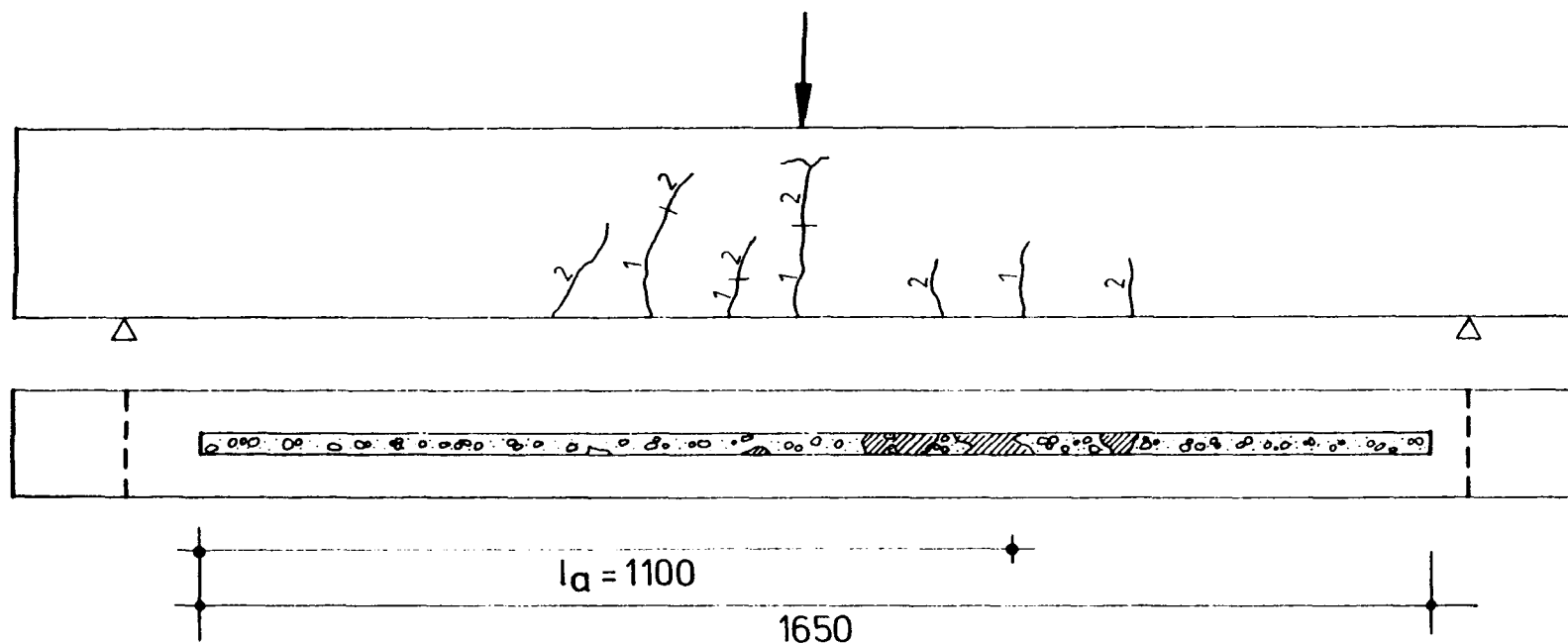


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN3: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		40,0	
2	7.300		nach Bruch

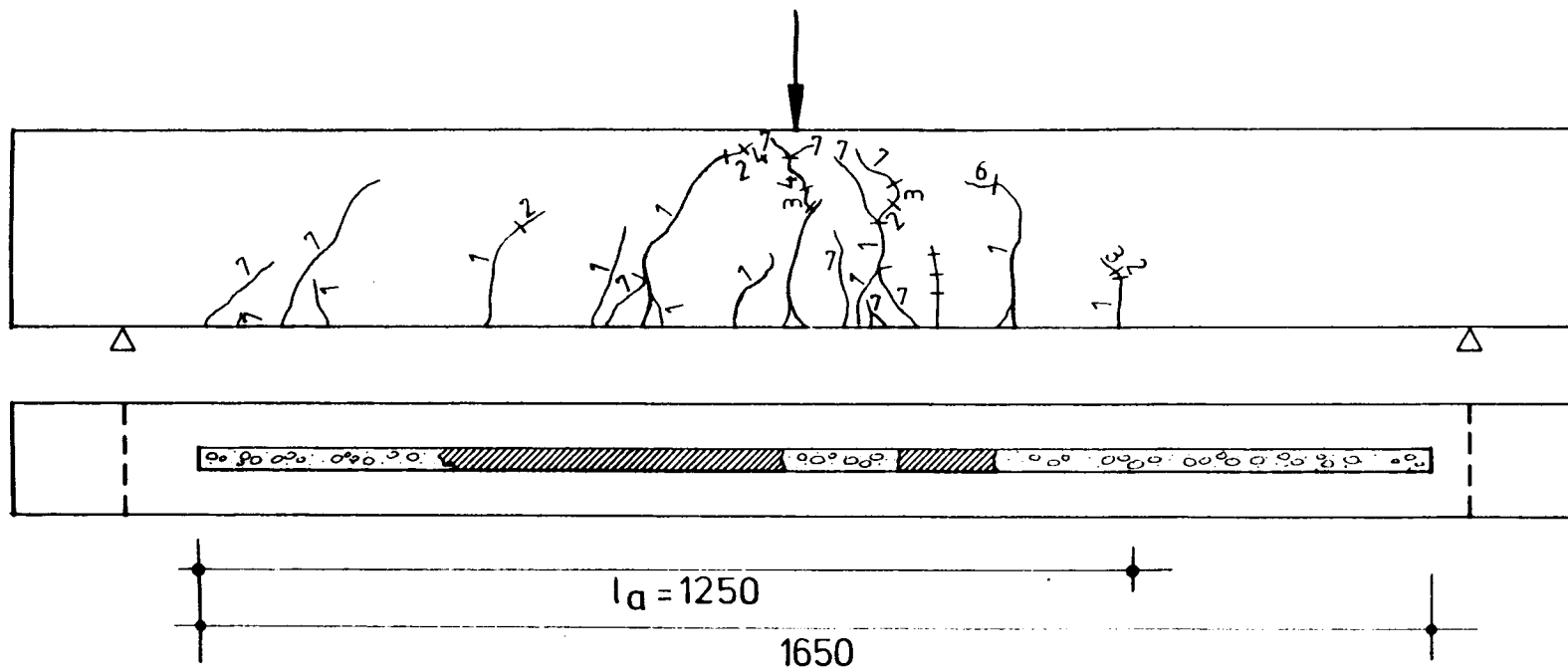


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN4: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		30,0	Oberlast
2		38,0	
3		50,0	
4		56,0	
5		60,0	
6		66,0	
7		67,5	nach Bruch

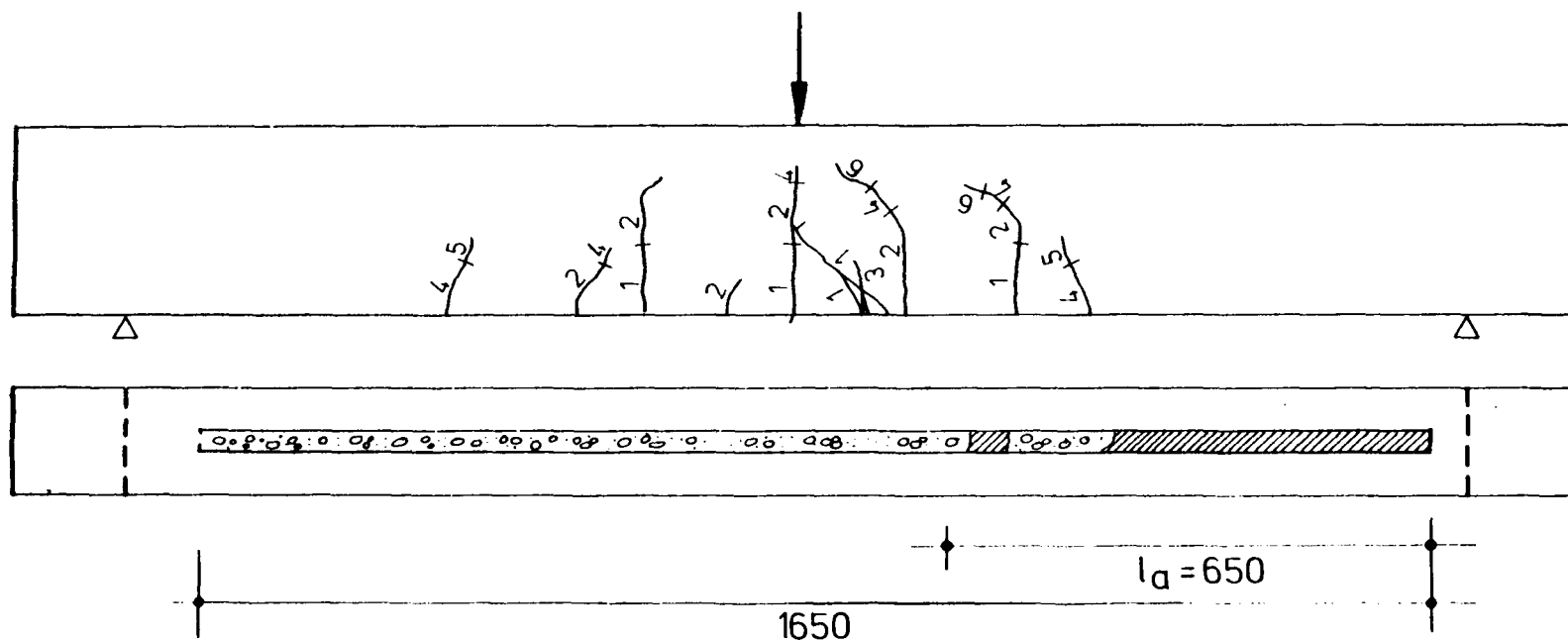


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN6: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		35,0	Oberlast
2	7.000		
3	16.000		
4	302.700		
5	662.200		
6	2.000.000		nach Bruch

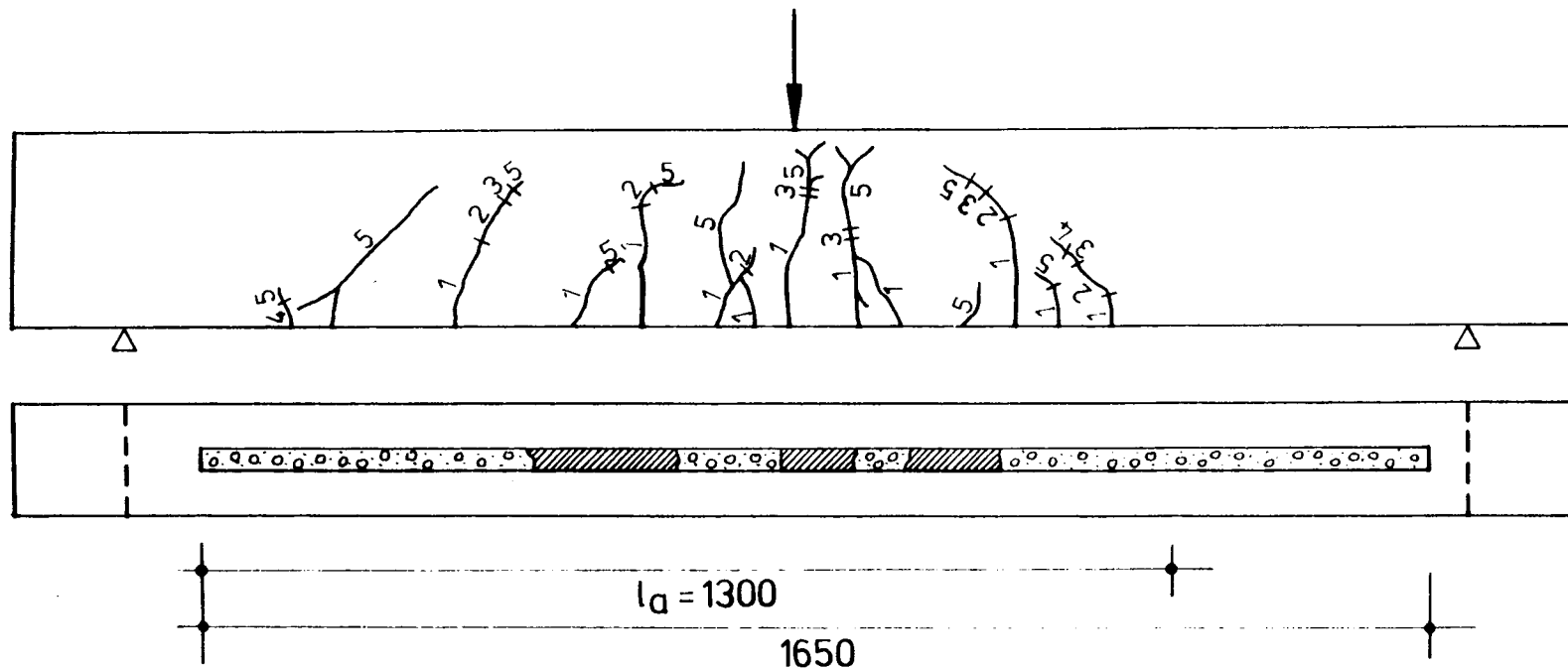


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN7: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		35.5	Oberlast
2	7.700		
3	356.000		
4	1.830.000		
5		69.8	nach Bruch

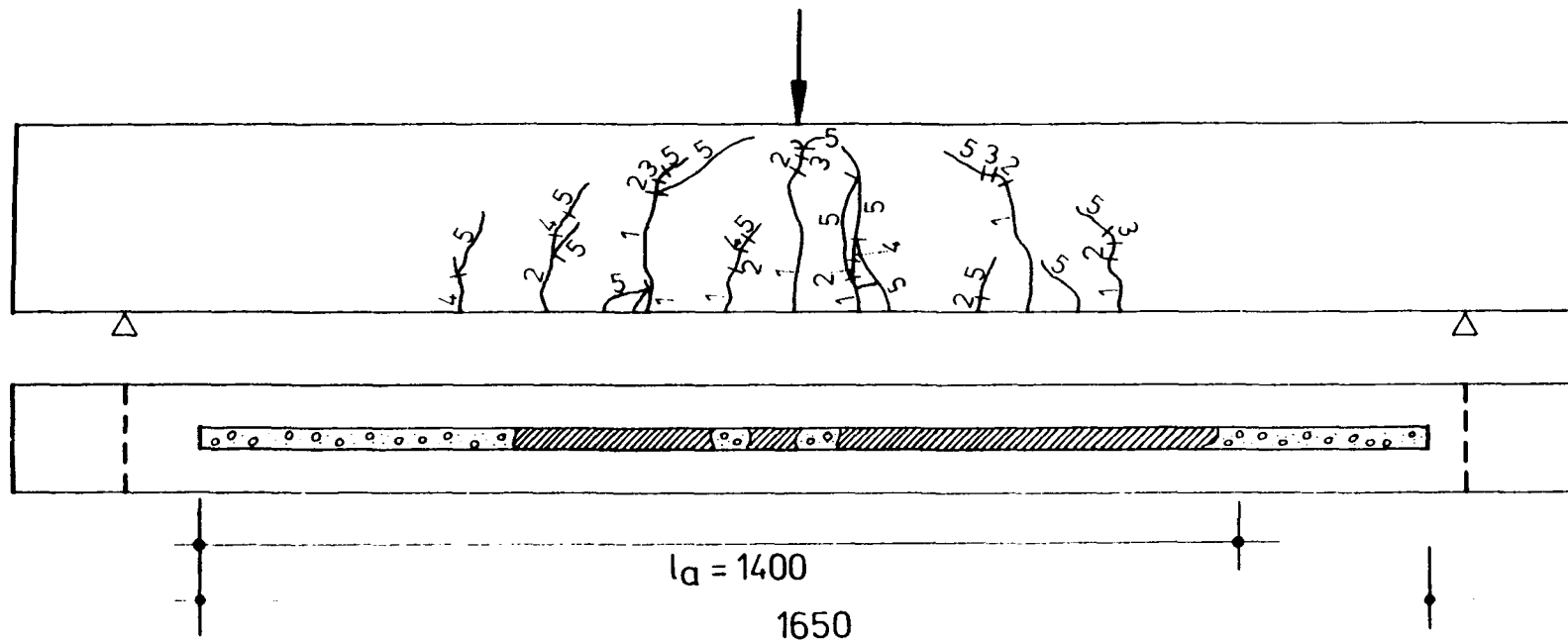


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN8: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		33.0	Oberlast
2	9.000		
3	758.500		
4	1.822.200		
5		70.8	nach Bruch

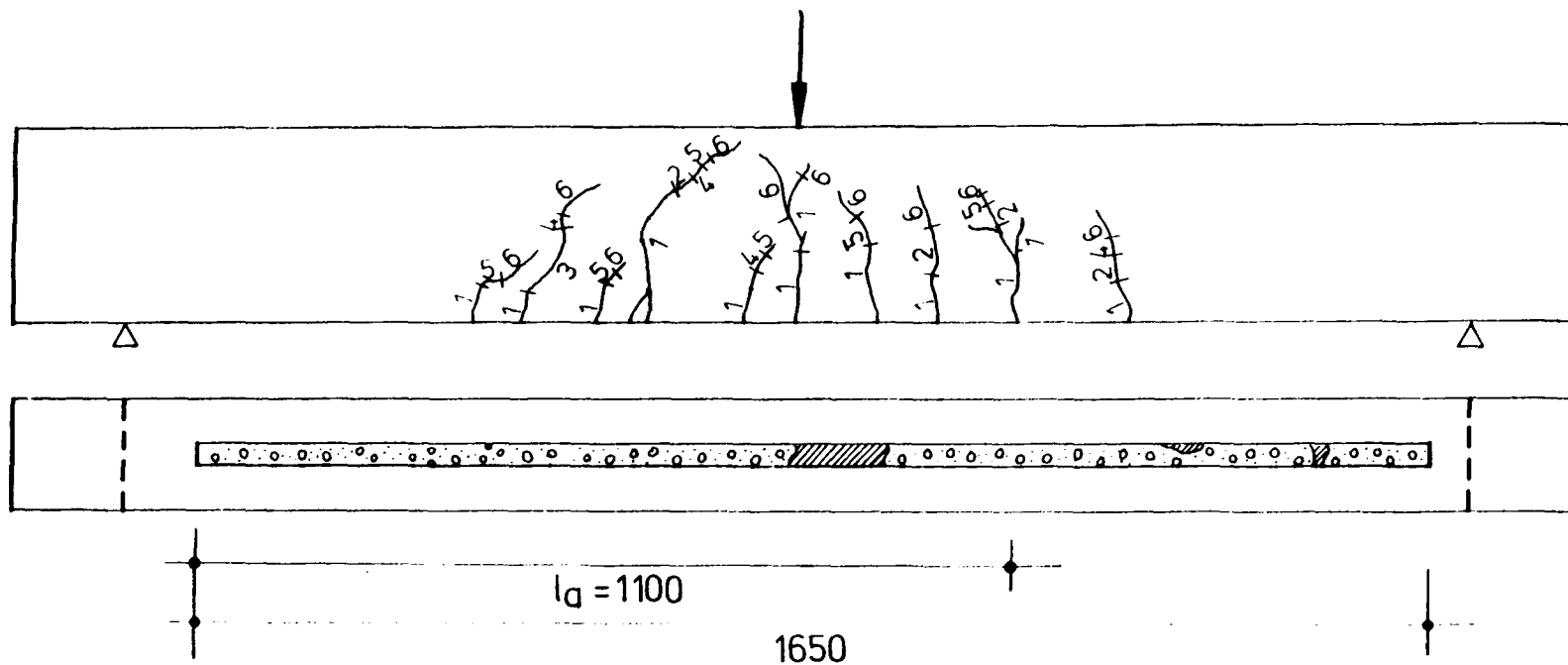


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN9: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



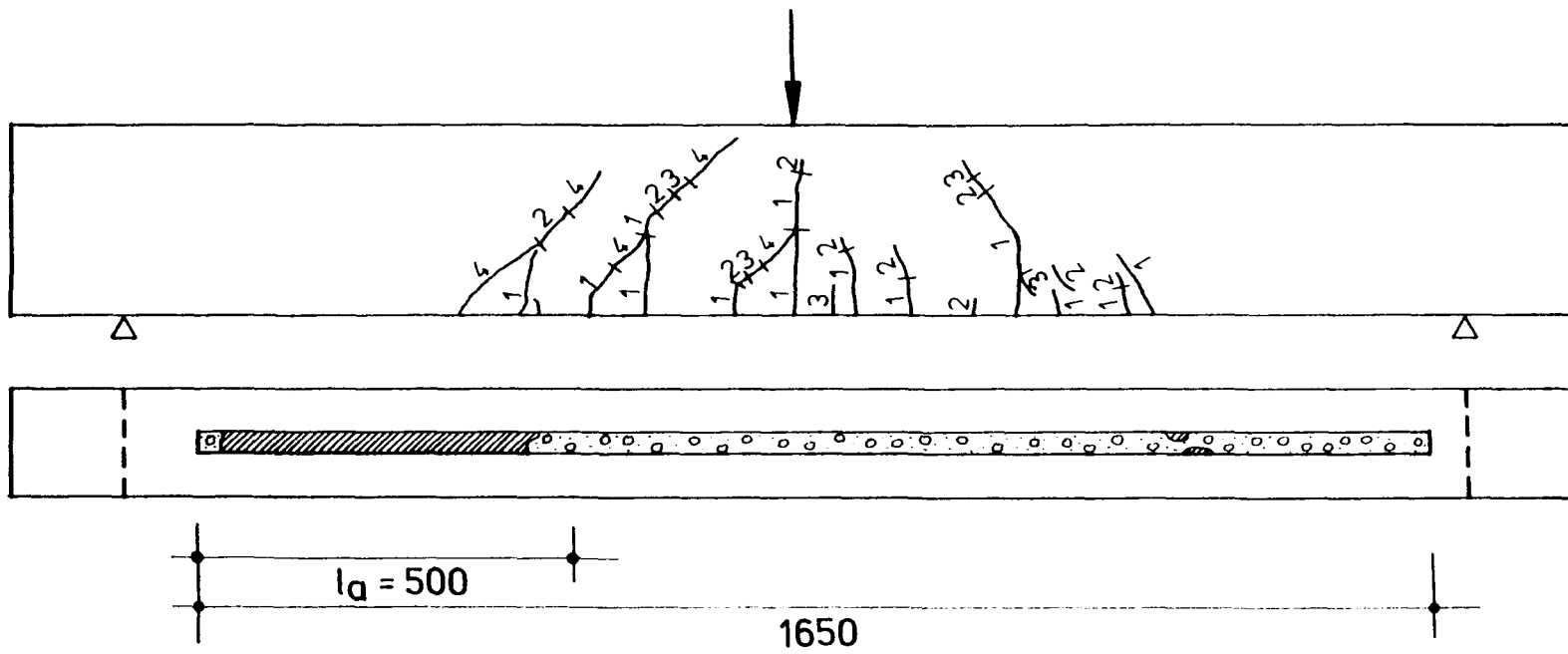
Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		35.0	Oberlast
2	2.000		
3	10.000		
4	312.500		
5	1.738.000		
6		64.8	nach Bruch



Betonversagen



Klebstoffversagen



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		40.0	Oberlast
2	5.000		
3	30.0000		
4	305.000		nach Bruch

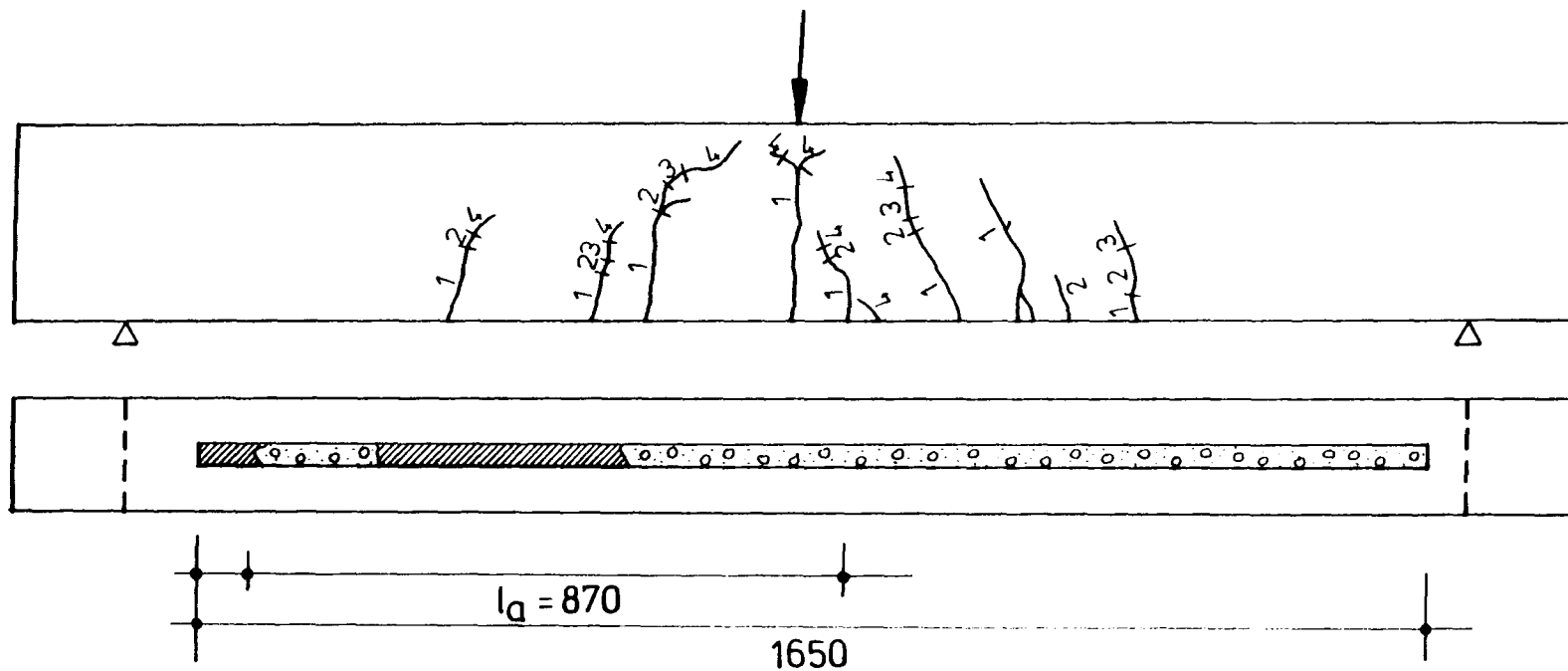


Betonversagen



Klebstoffversagen

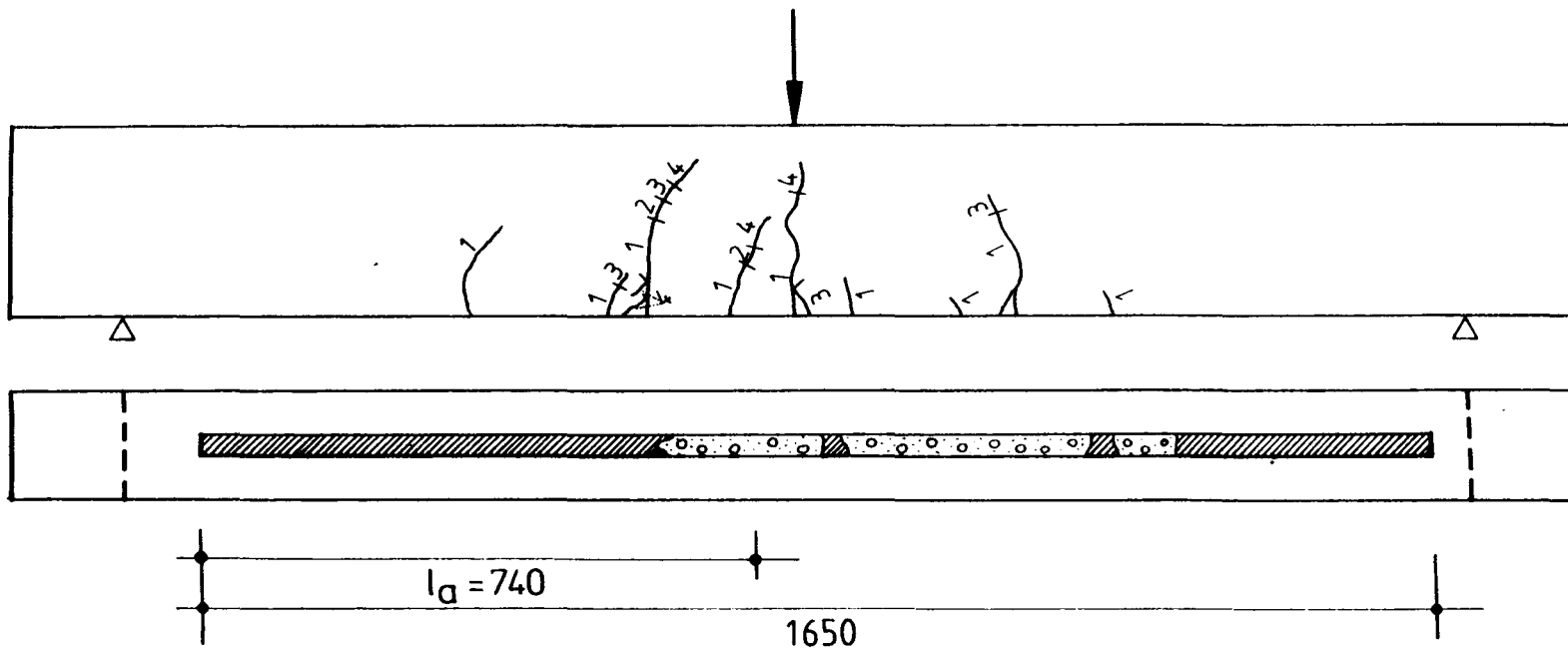
Versuch DYN12: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		38.0	Oberlast
2	9.000		
3	70.000		
4	123.000		nach Bruch

 Betonversagen
  Klebstoffversagen

Versuch DYN14: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		34.0	Oberlast
2	5.000		
3	9.000		
4	236.000		nach Bruch

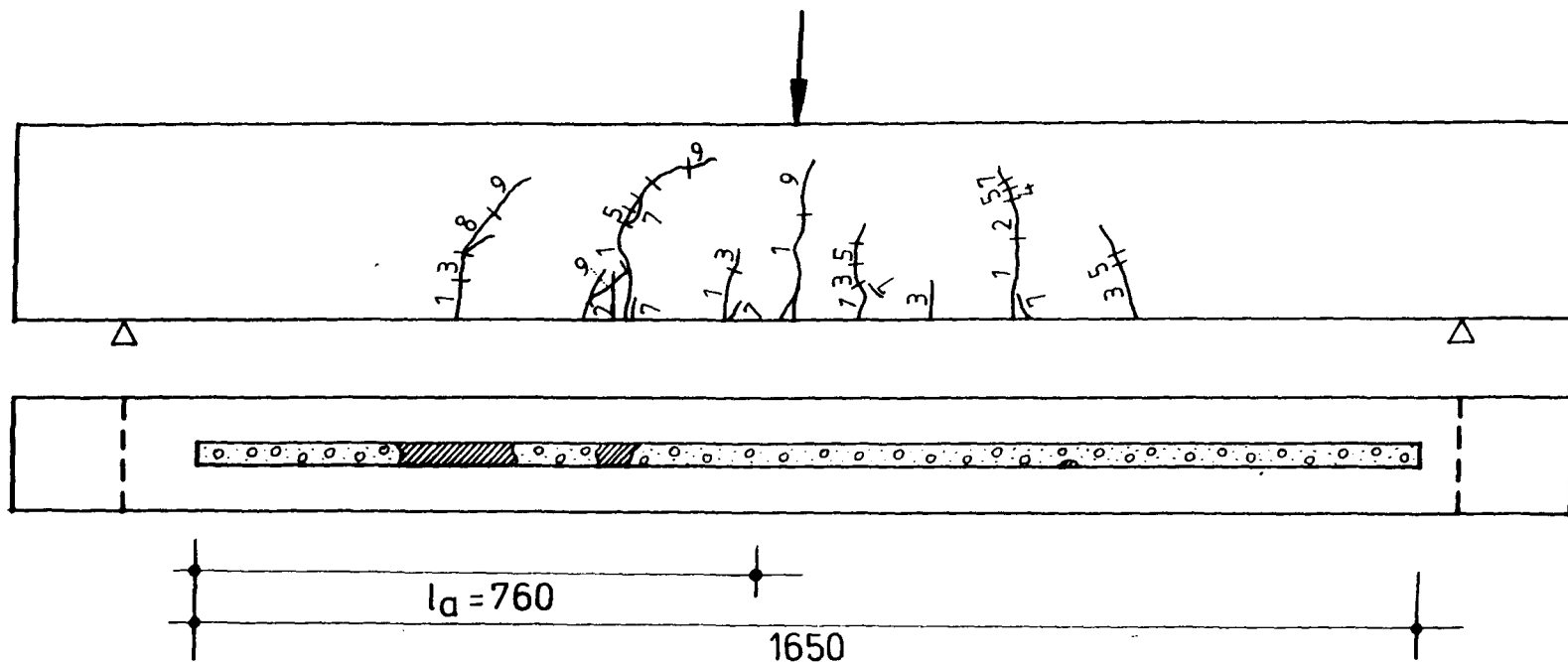


Betonversagen





Klebstoffversagen

Versuch DYN15: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl

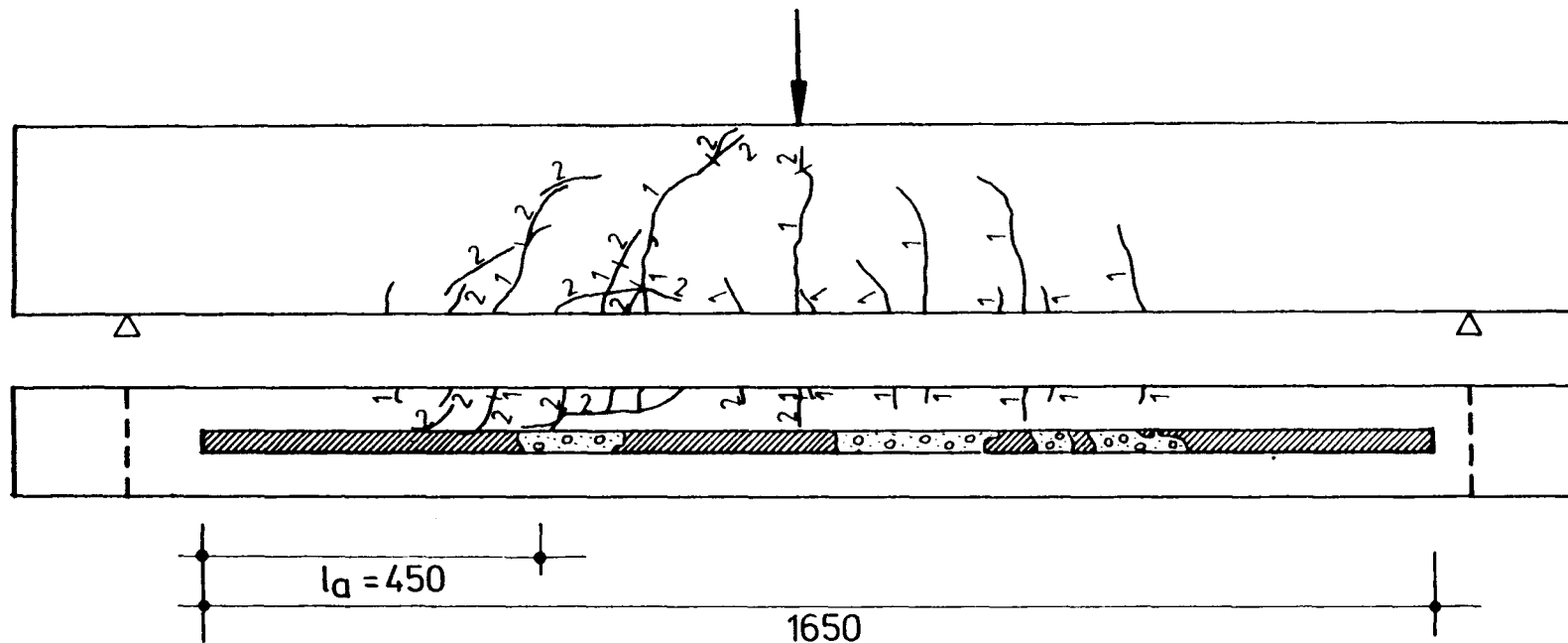


Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		31.0	Oberlast
2	3.000		
3	10.000		
4	100.000		
5	350.000		
6	740.000		
7	5.000.000		nach Bruch

 Betonversagen

 Klebstoffversagen

Versuch DYN17: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		50,0	Oberlast
2	33.000		nach Bruch

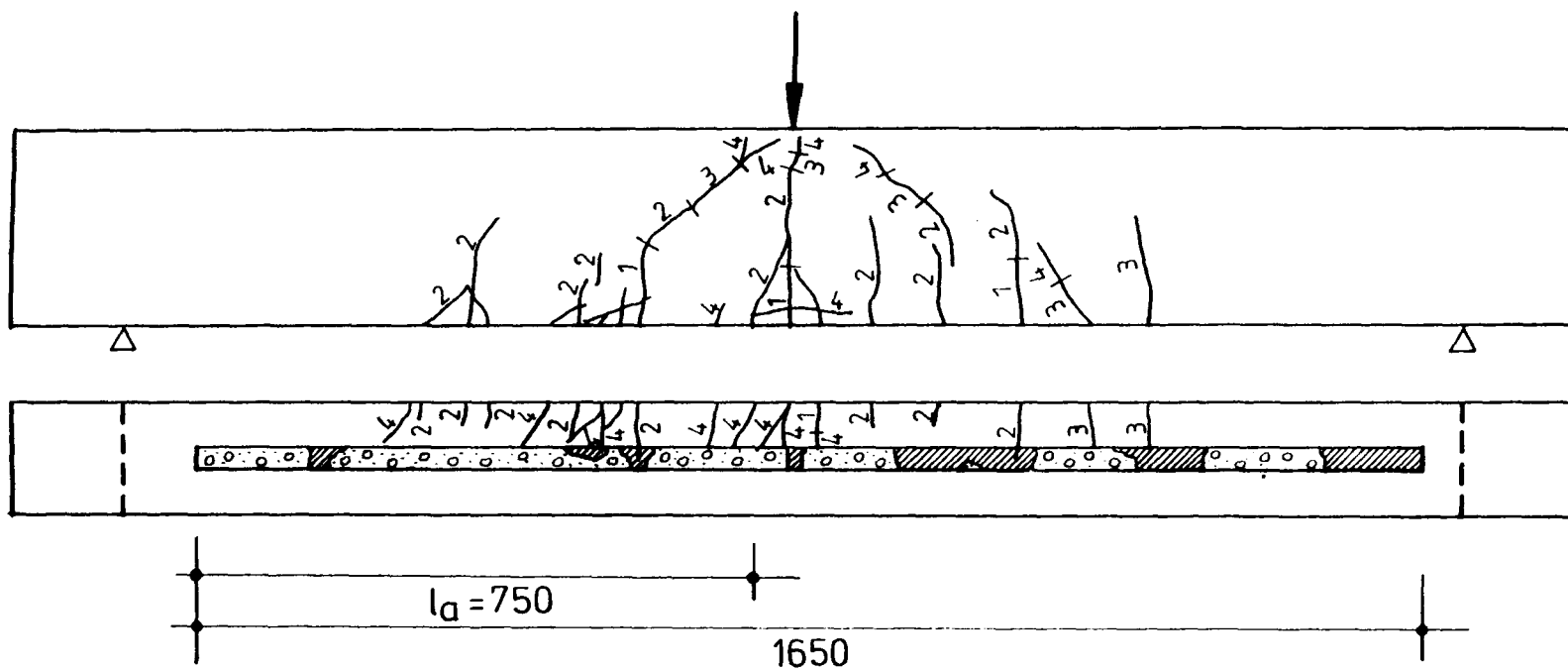


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN18: RiBentwicklung in Abhangigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Oberlast
2	1.000		
3	10.000		
4	115.000		nach Bruch

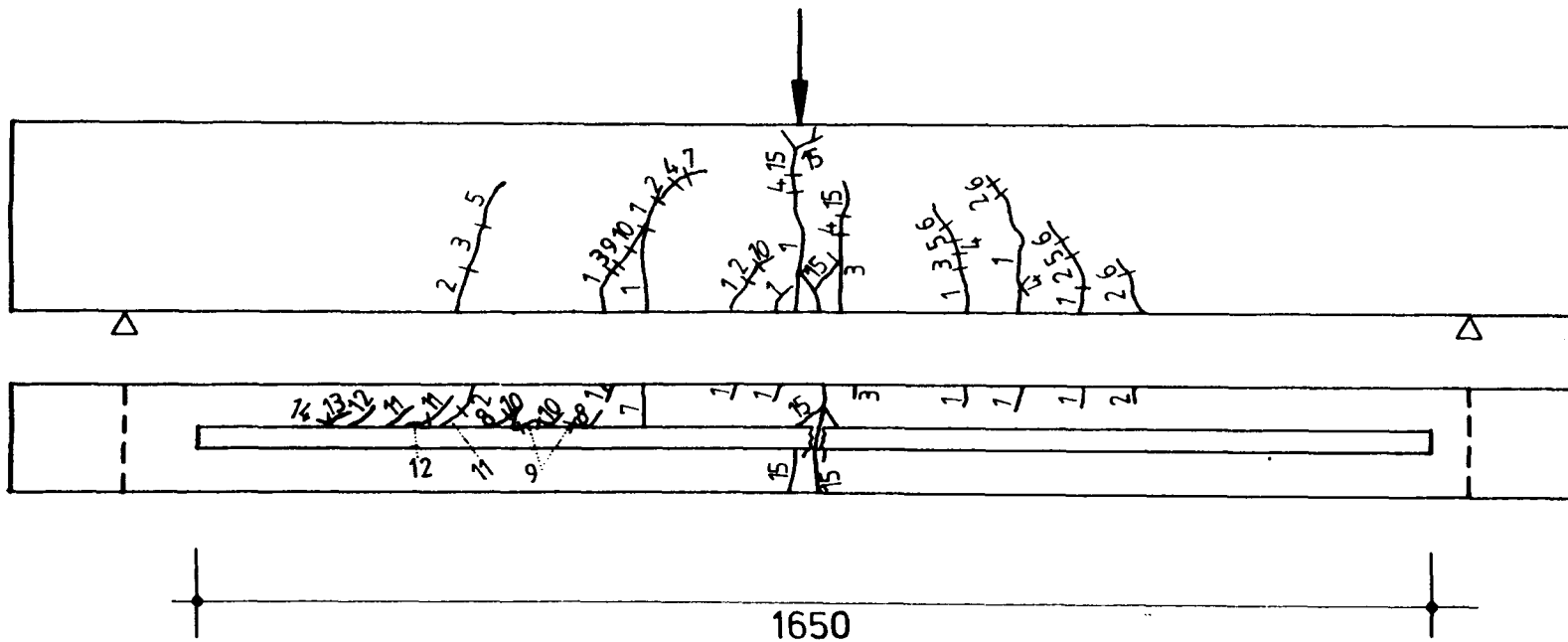


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN19: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Oberlast
2	1.500		
3	11.000		
4	50.000		
5	350.000		
6	1.155.000		
7	1.388.900		
8	1.755.000		

Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9	2.100.000		
10	2.460.000		
11	3.870.000		
12	4.220.000		
13	4.620.000		
14	4.940.000		
15	5.000.000		nach Bruch

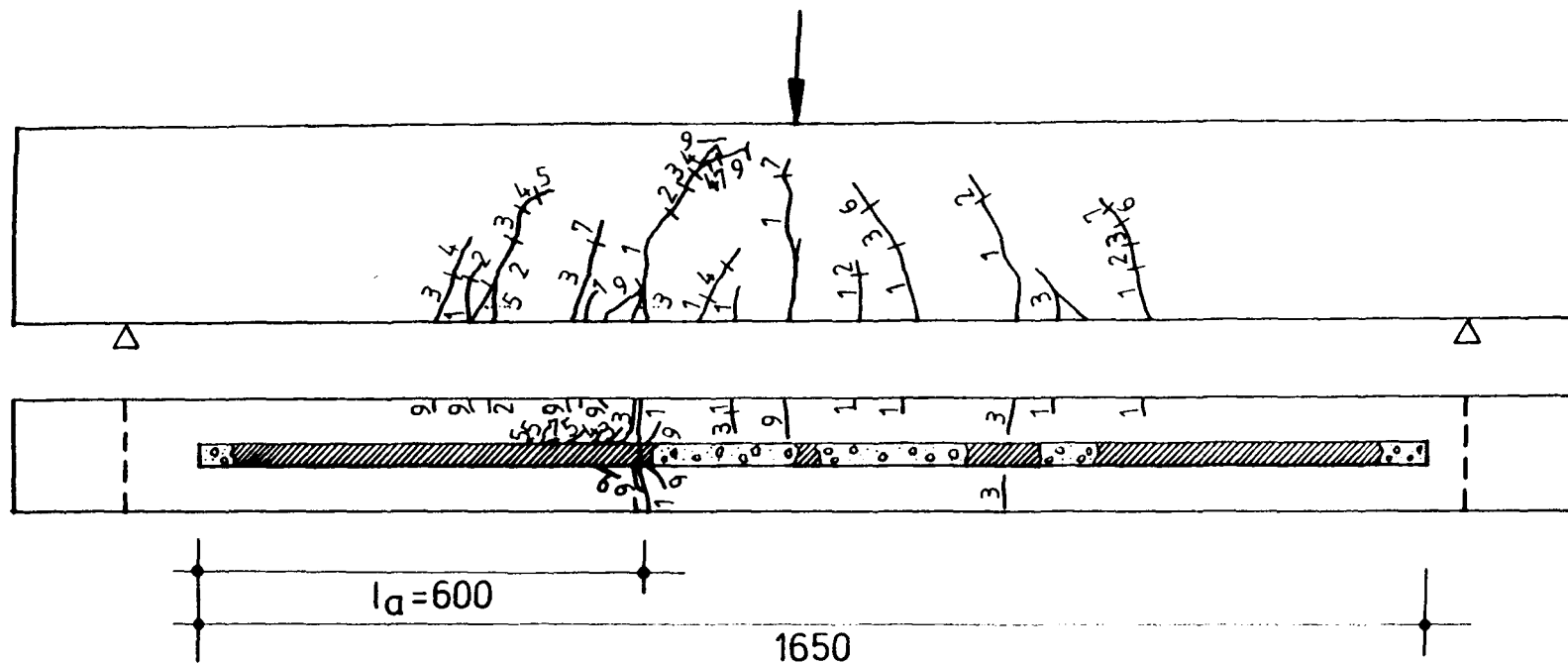


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN20: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Oberlast
2	1.500		
3	16.000		
4	80.000		
5	163.600		
6	243.500		
7	298.500		
8	374.500		

Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9	389.500		nach Bruch

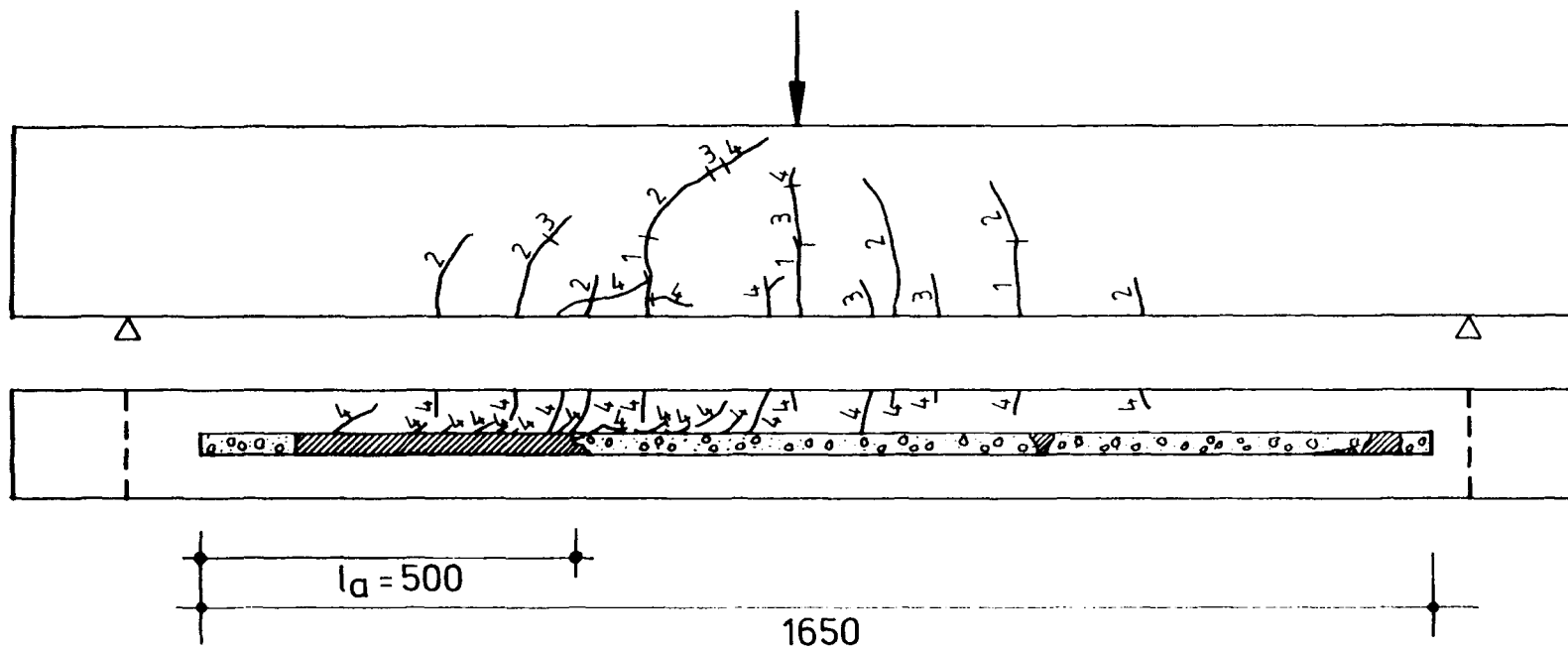


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN21: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Ober last
2	7.500		
3	40.000		
4	328.000		nach Bruch

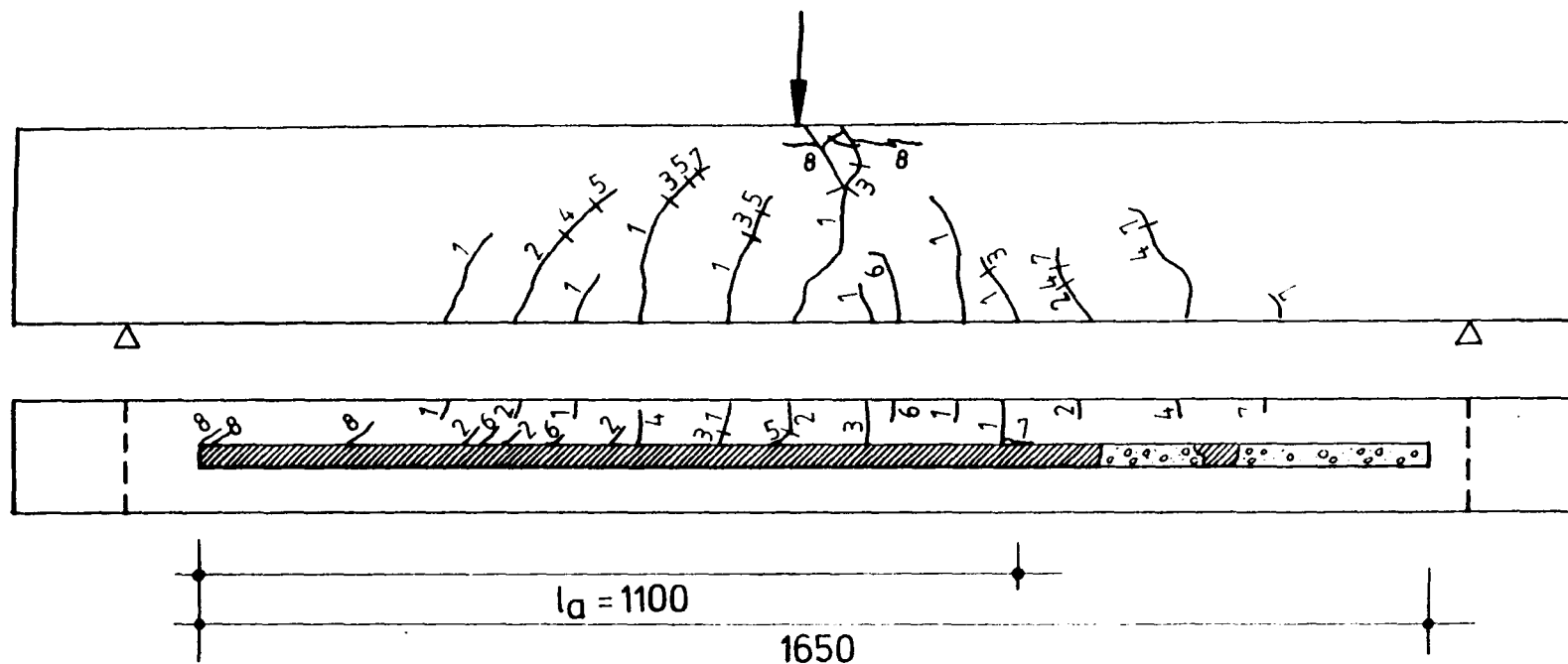


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN22: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		40,0	Oberlast
2	200		
3	7500		
4	20.200		
5	90.400		
6	458.000		
7	576.000		
8	999.700		nach Bruch

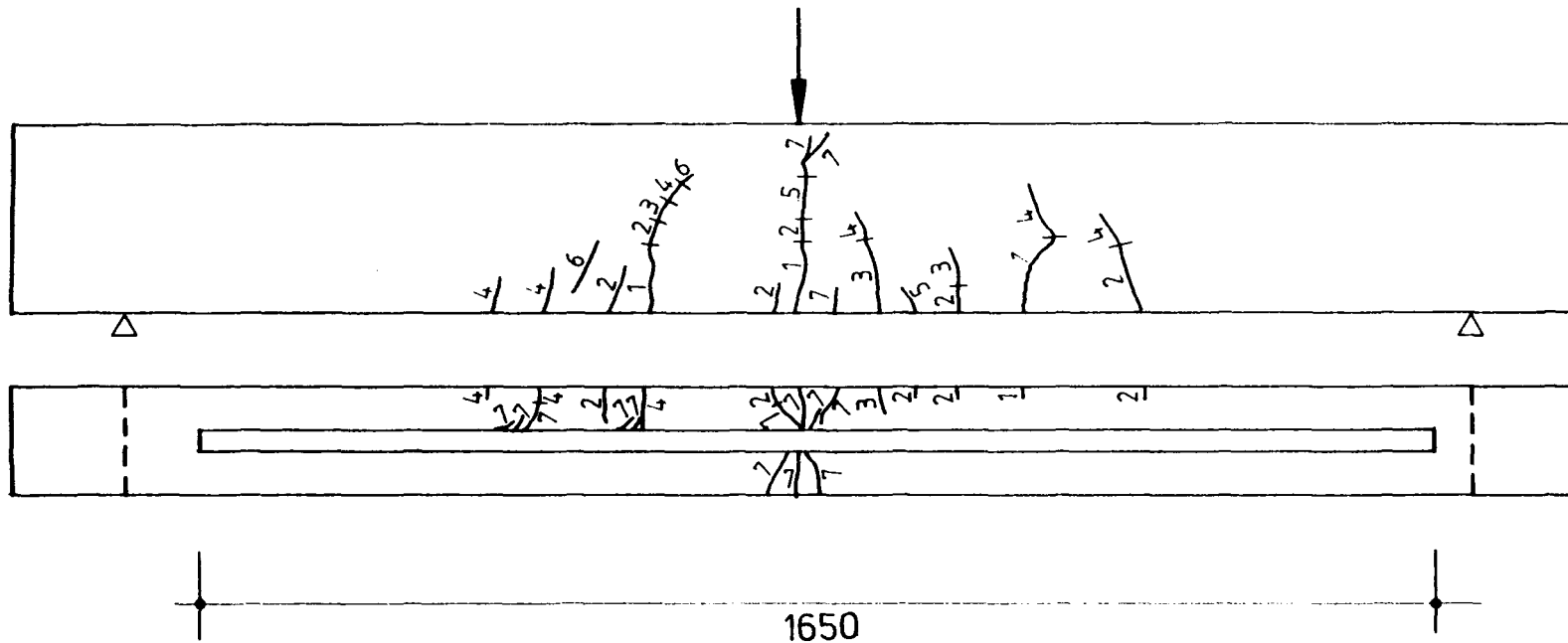


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN23: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		40,0	Oberlast
2	2.000		
3	10.000		
4	360.000		
5	700.000		
6	1.060.000		
7	2.135.600		nach Bruch

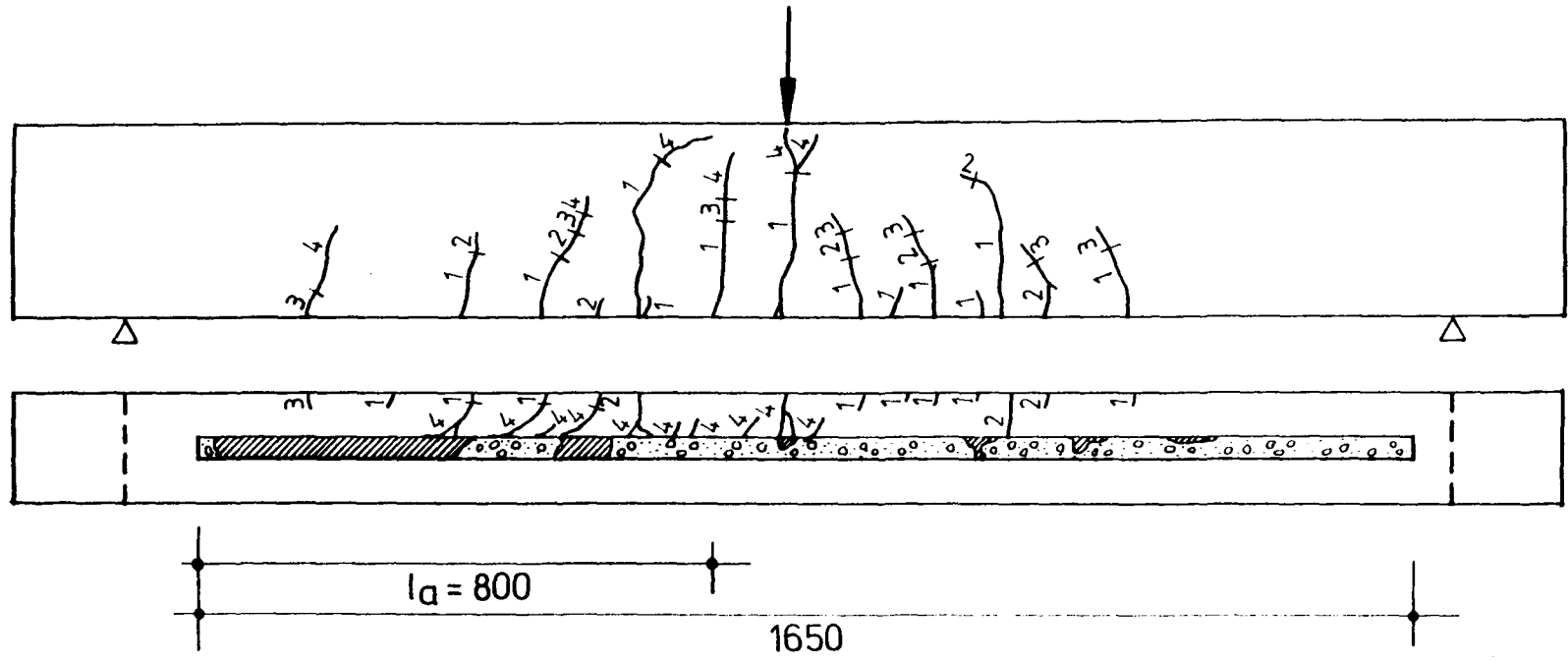


Betonversagen



Klebstoffversagen

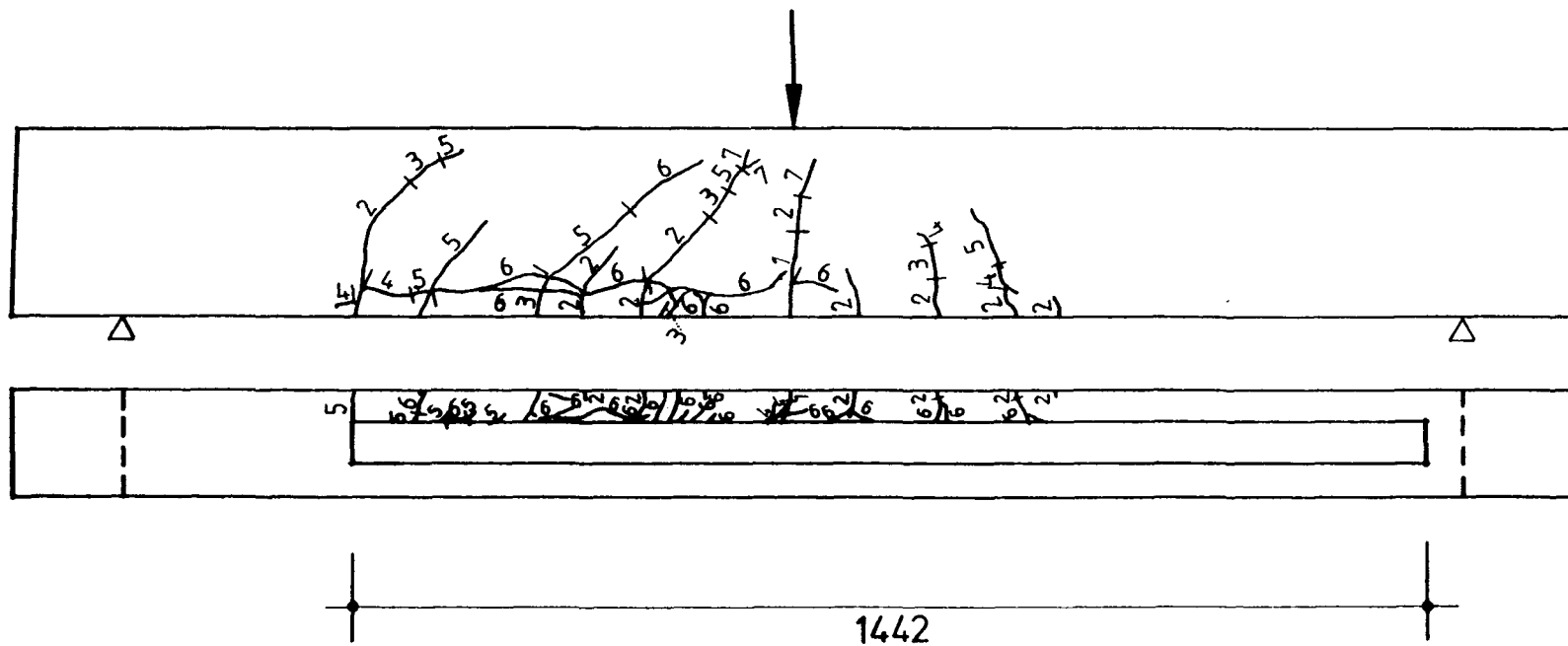
Versuch DYN24: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Oberlast
2	4.500		
3	18.000		
4	161.000		nach Bruch

 Betonversagen
  Klebstoffversagen

Versuch DYN25: RiBentwicklung in Abhangigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		35,0	Oberlast
2	2.000		
3	50.000		
4	100.000		
5	370.000		
6	402.000		nach Bruch

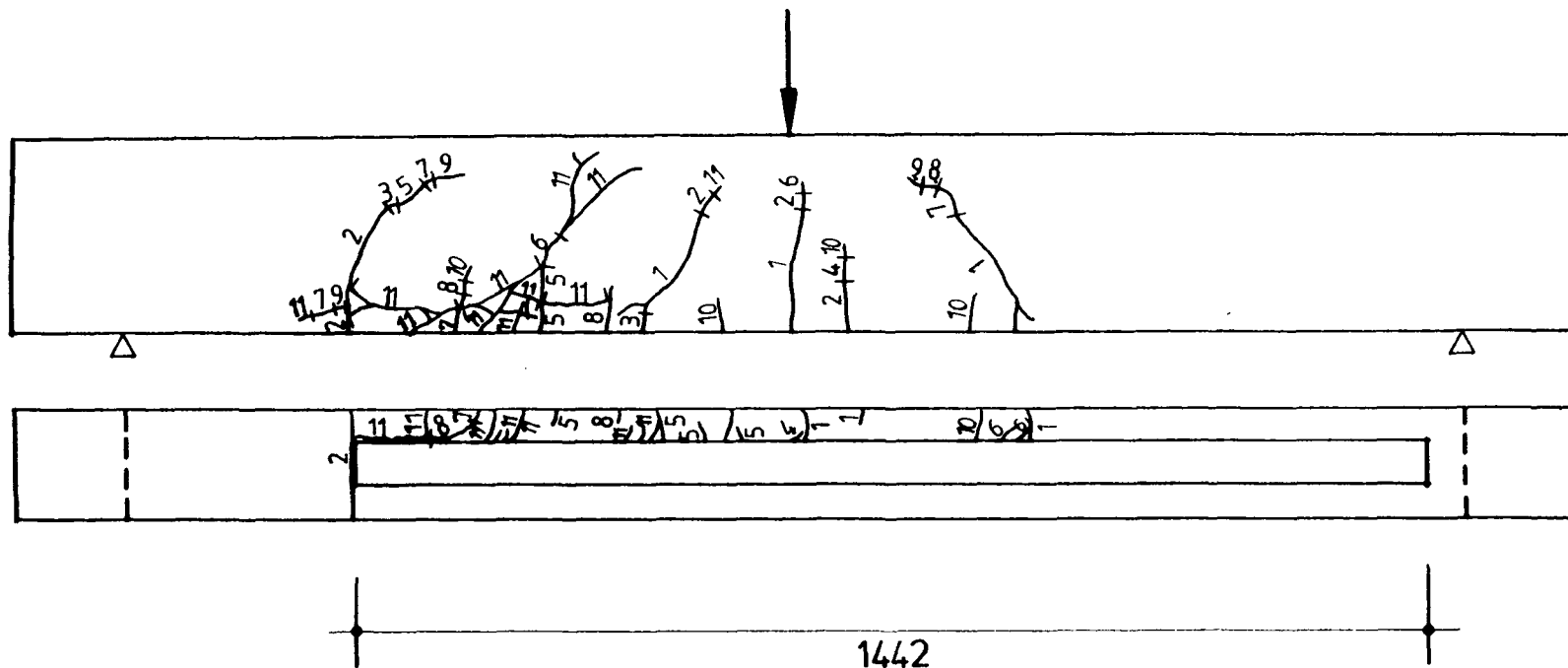


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN26: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		30,0	Oberlast
2	300		
3	1.800		
4	10.000		
5	86.000		
6	183.000		
7	285.000		
8	308.000		

Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9		40,0	
10		50,0	
11		56,0	

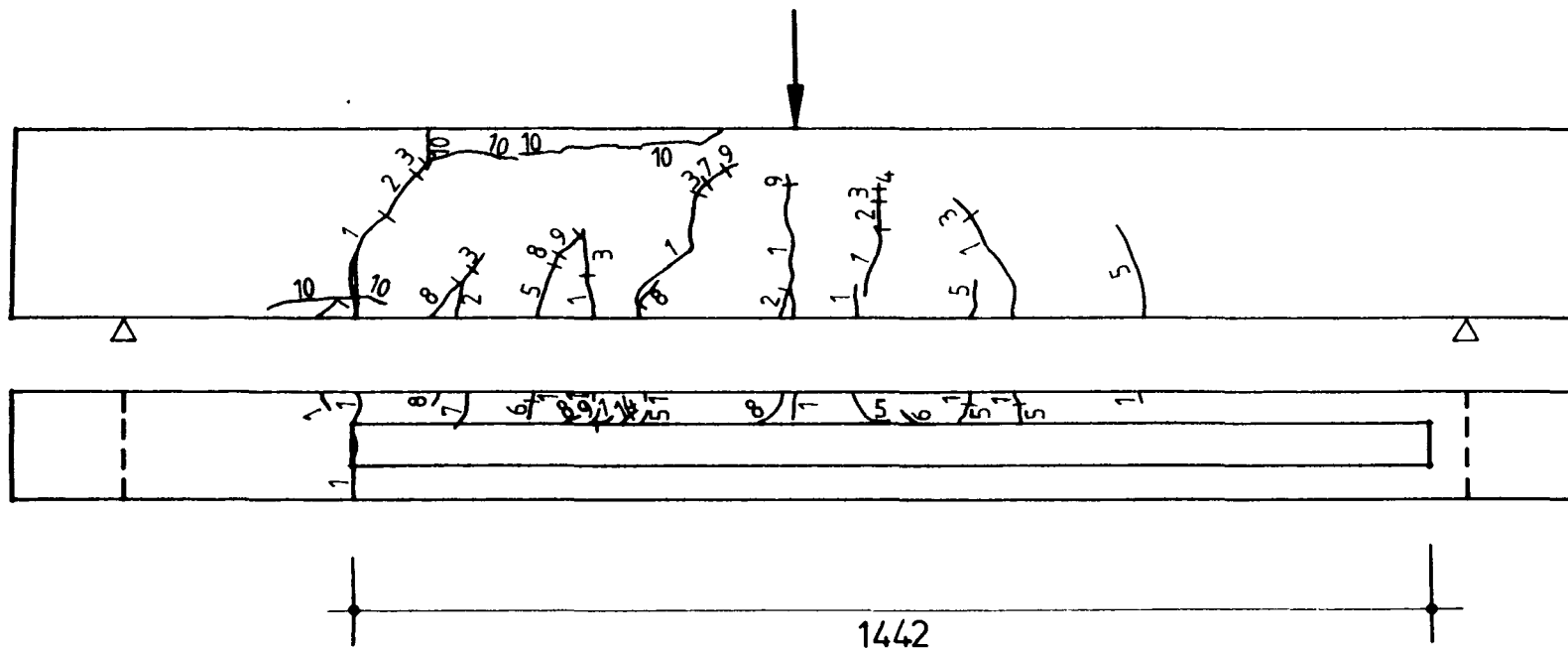


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN27: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		35,0	Oberlast
2	1.000		
3	10.000		
4	76.000		
5	102.300		
6	163.000		
7	187.000		
8	251.000		

Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9	429.000		
10	590.000		nach Bruch

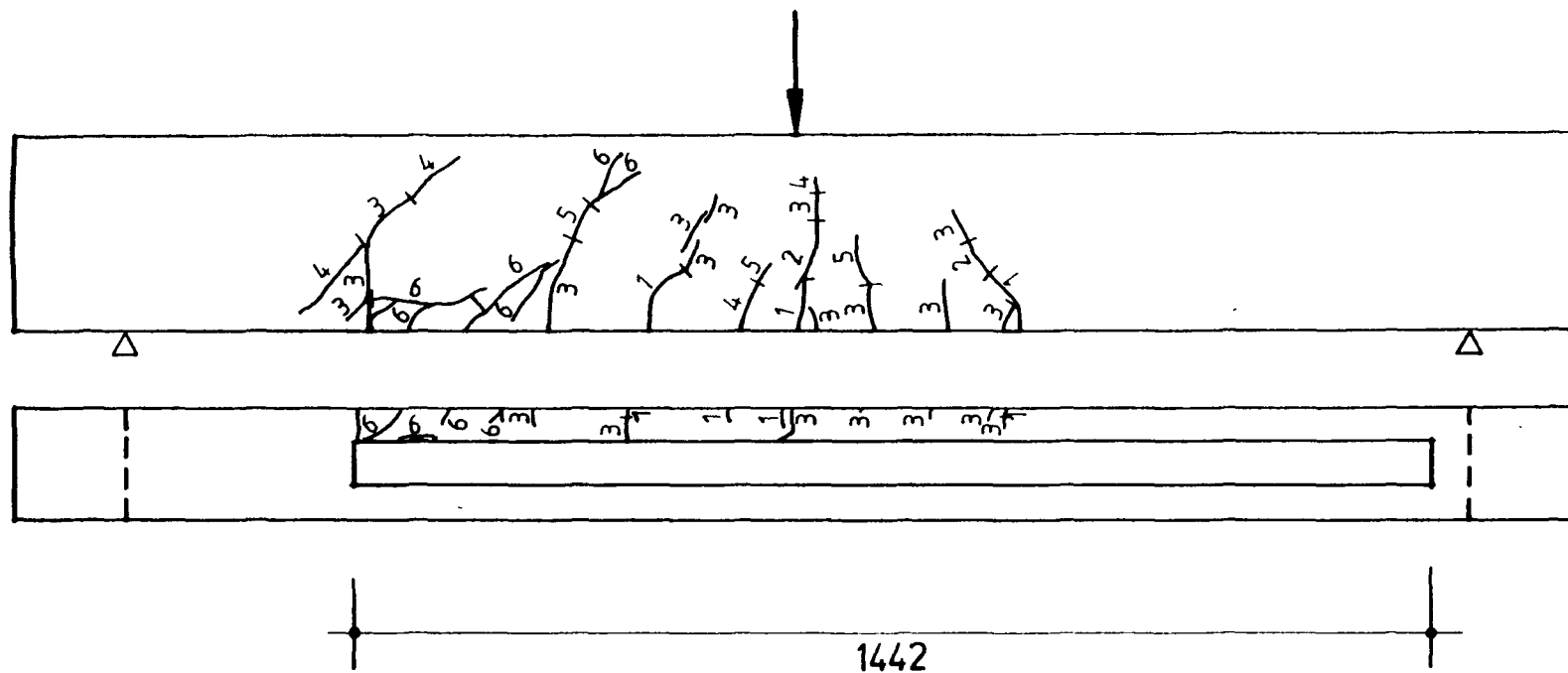


Betonversagen





Klebstoffversagen

Versuch DYN28: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl

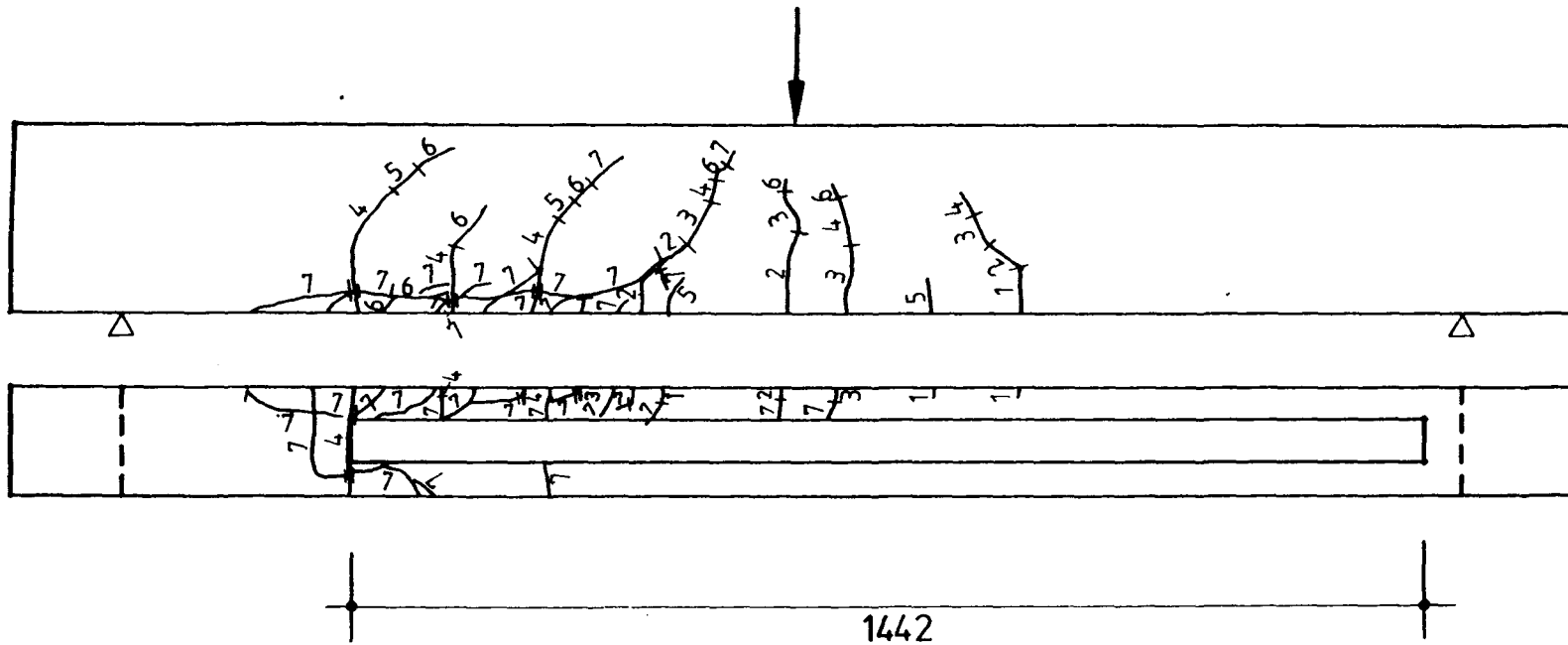


Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		10,0	
2		30,0	
3		40,0	
4		45,0	
5		50,0	
6		56,0	nach Bruch


 Betonversagen


 Klebstoffversagen

Versuch STAT29: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl

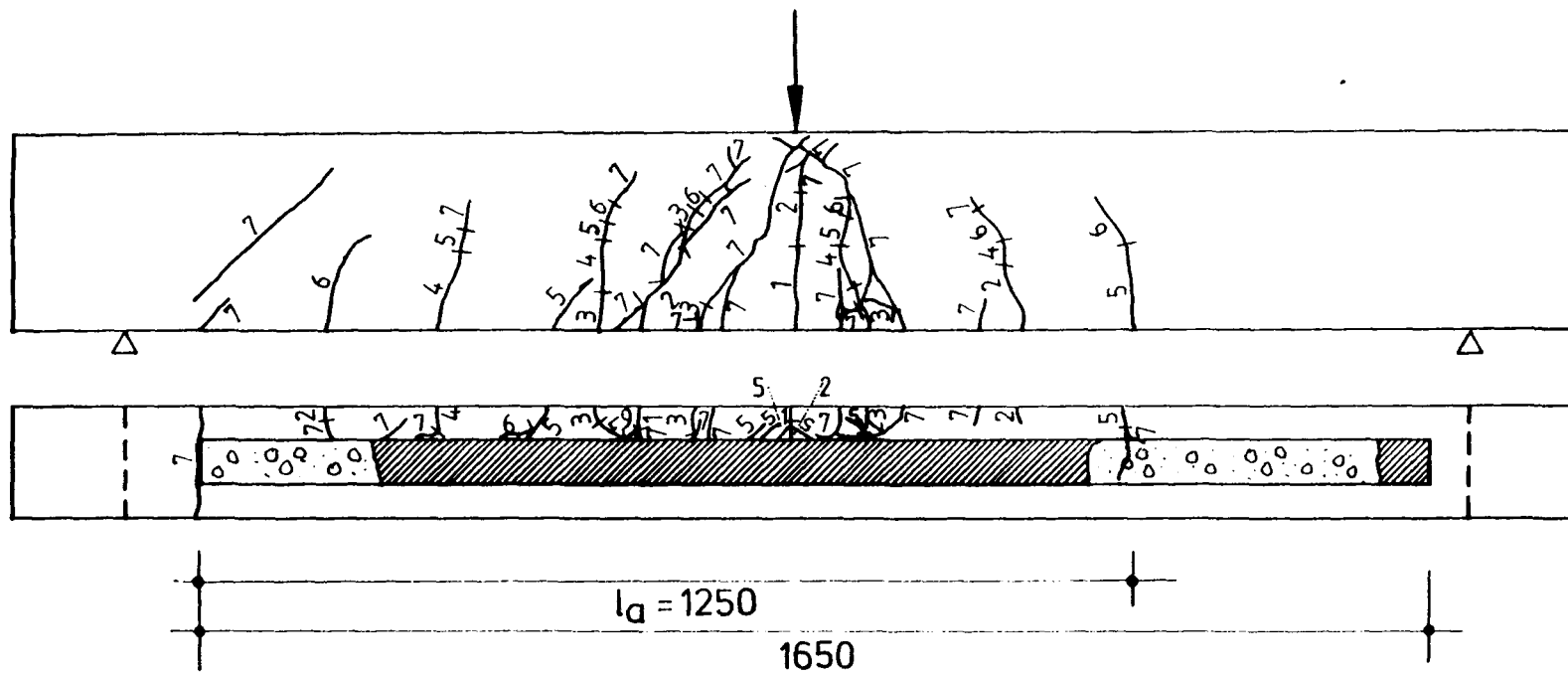


Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		10,0	
2		20,0	
3		30,0	
4		40,0	
5		45,0	
6		50,0	
7		54,0	nach Bruch

 Betonversagen

 Klebstoffversagen

Versuch STAT30: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



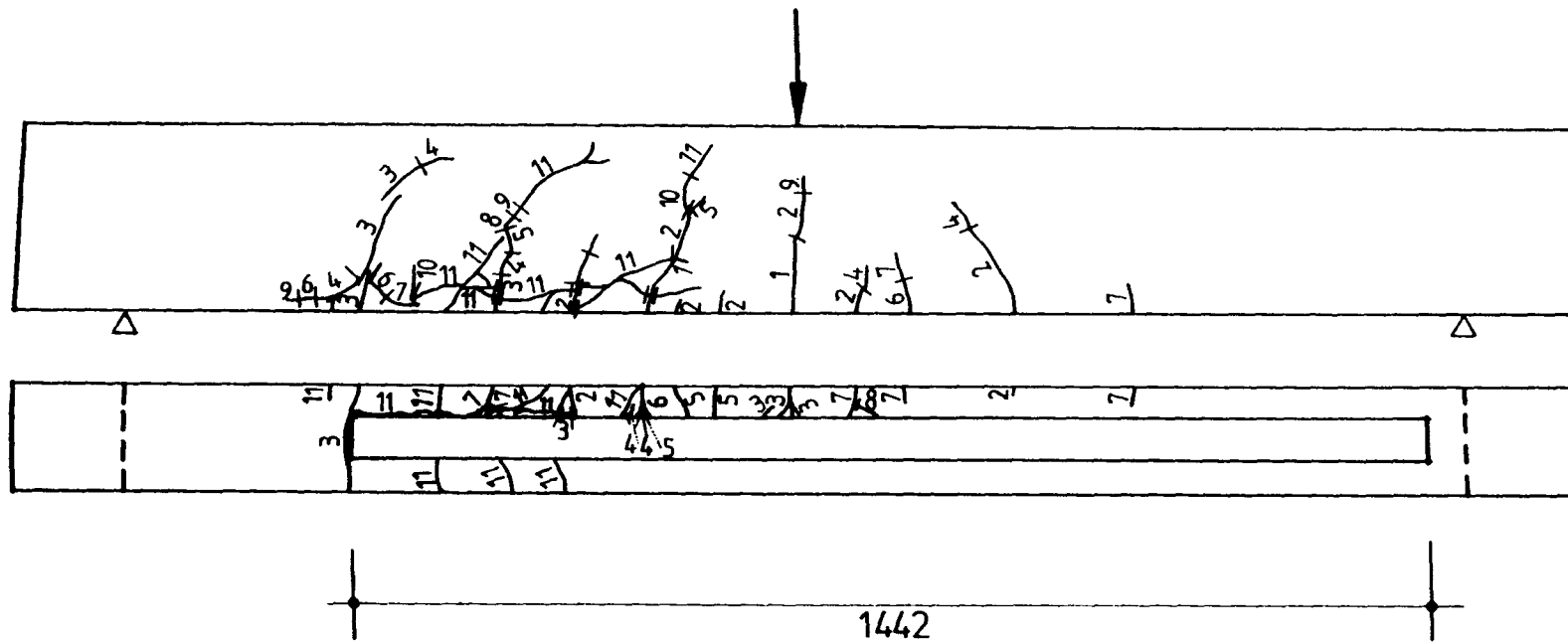
Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1			Oberlast
2		20,0	
3		30,0	
4		40,0	
5		50,0	
6		60,0	
7			nach Bruch



Betonversagen



Klebstoffversagen



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		30,0	Oberlast
2	1500		
3	10.000		
4	390.000		
5	740.000		
6	2.200.000		
7	2.920.400		
8	5.476.100		

Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9		47,5	
10		50,0	
11		52,6	nach Bruch

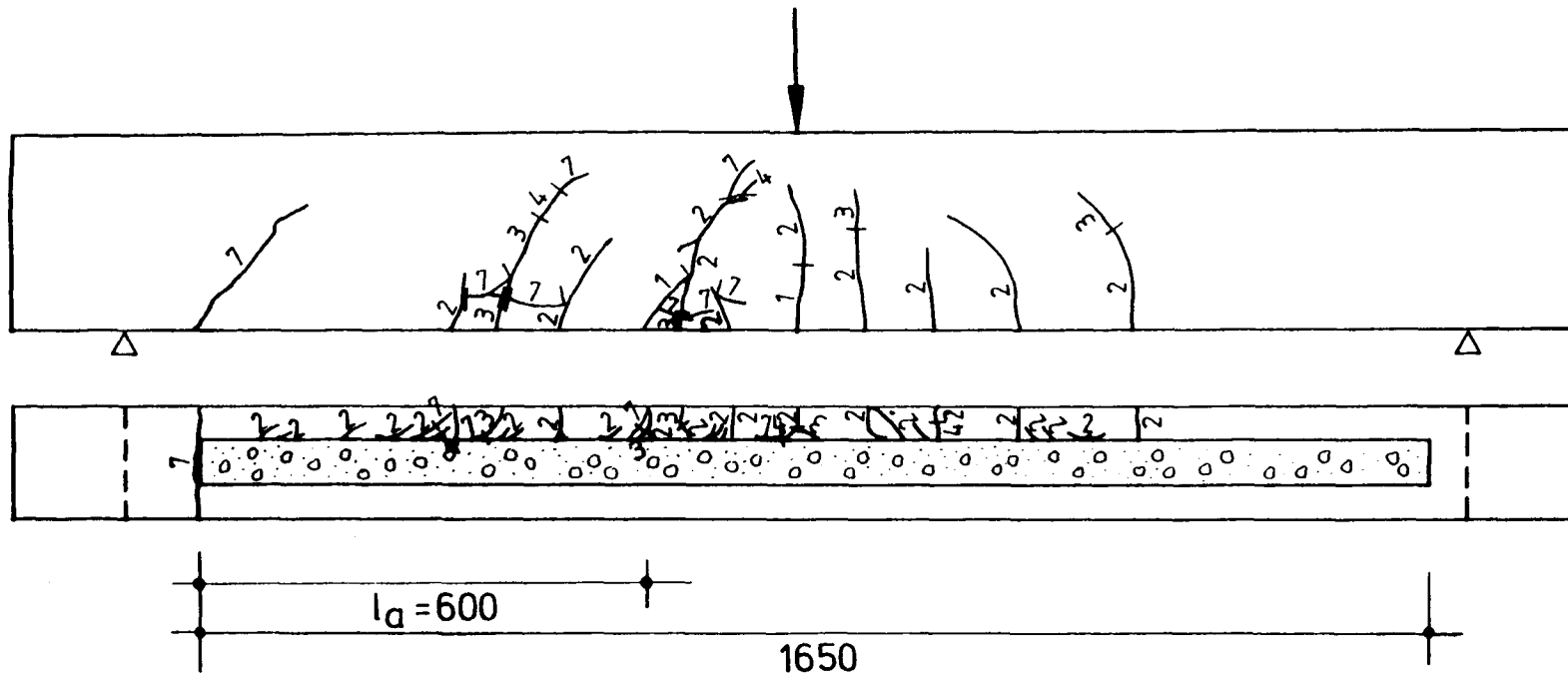


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN33: RiBentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



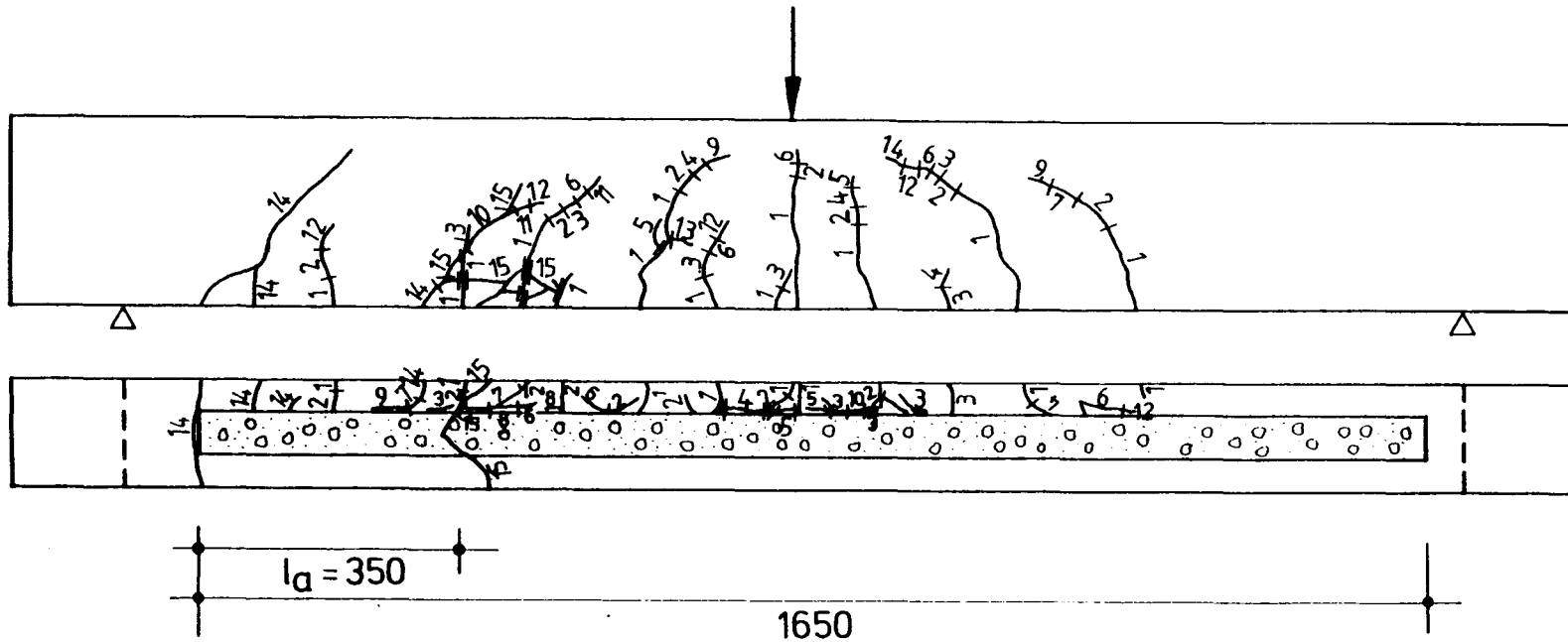
Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Oberlast
2	1.000		
3	5.000		
4	40.000		
5	500.000		
6	741.000		
7	1.918.700		nach Bruch



Betonversagen



Klebstoffversagen



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Oberlast
2	1.000		
3	16.000		
4	92.700		
5	120.000		
6	398.000		
7	502.000		
8	805.000		

Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9	1.107.400		
10	1.311.700		
11	1.827.500		
12		50,0	
13		55,0	
14		72,5	
15		74,0	nach Bruch

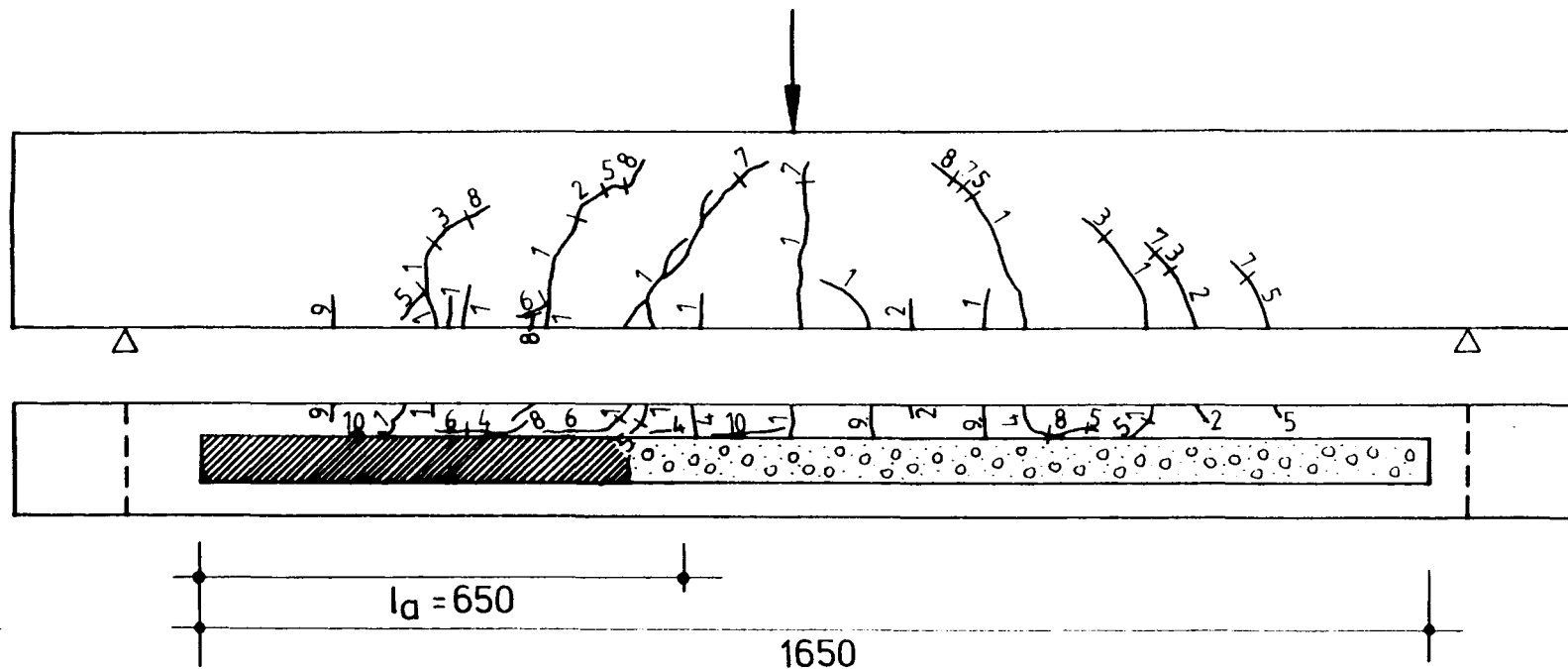


Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN35: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Oberlast
2	200		
3	1.000		
4	17.200		
5	83.800		
6	175.200		
7	362.700		
8	484.400		

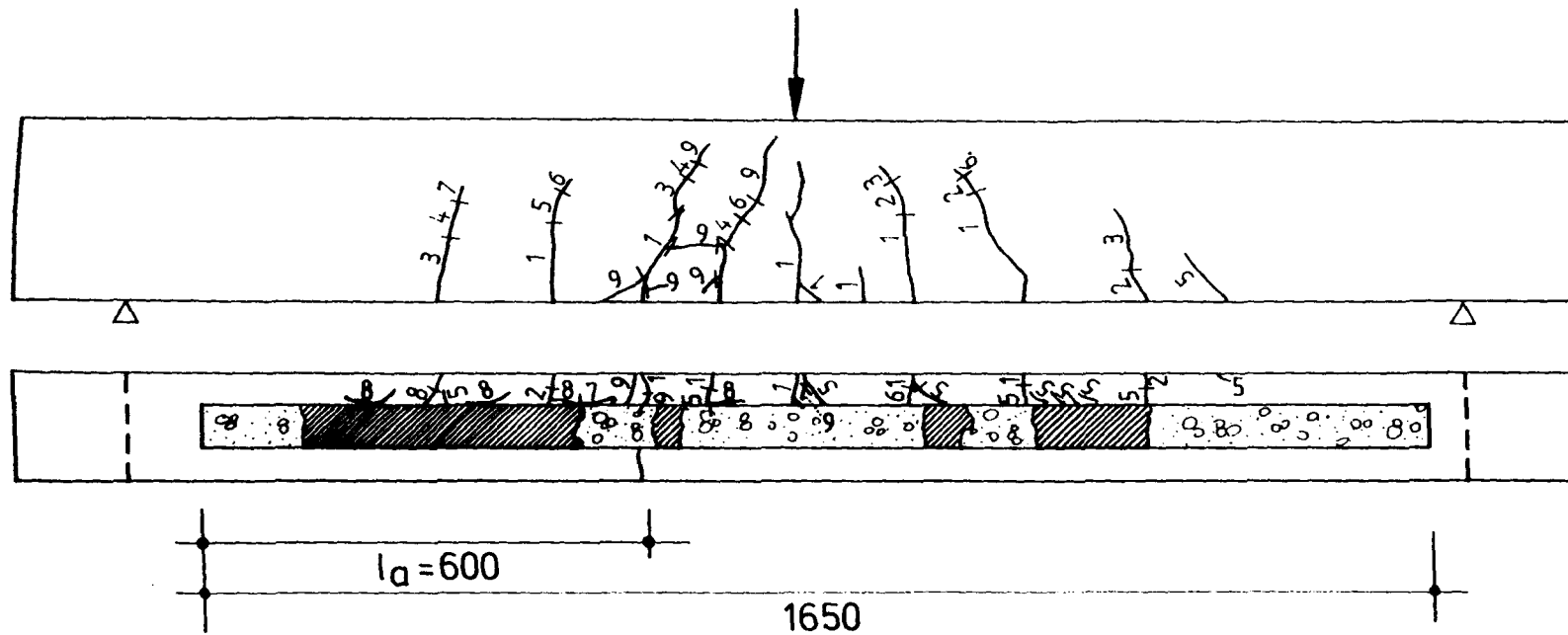
Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9	572.900		
10	942.400		
11	1.108.500		nach Bruch



Betonversagen



Klebstoffversagen



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Oberlast
2	500		
3	1.300		
4	14.500		
5	78.700		
6	101.500		
7	271.500		
8	451.200		

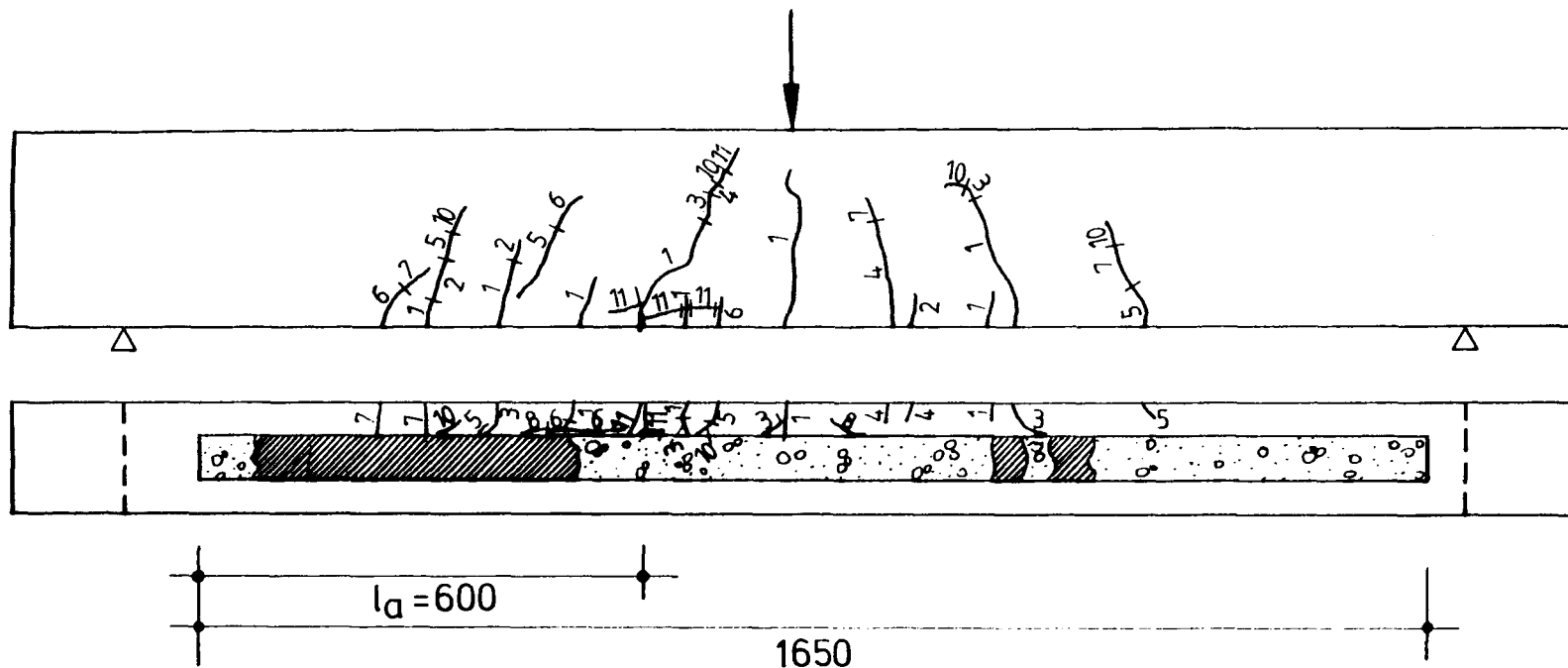
Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
9	474.300		nach Bruch



Betonversagen



Klebstoffversagen



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		45,0	Oberlast
2	200		
3	6.800		
4	31.000		
5	223.500		
6	228.800		
7	327.400		
8	563.200		

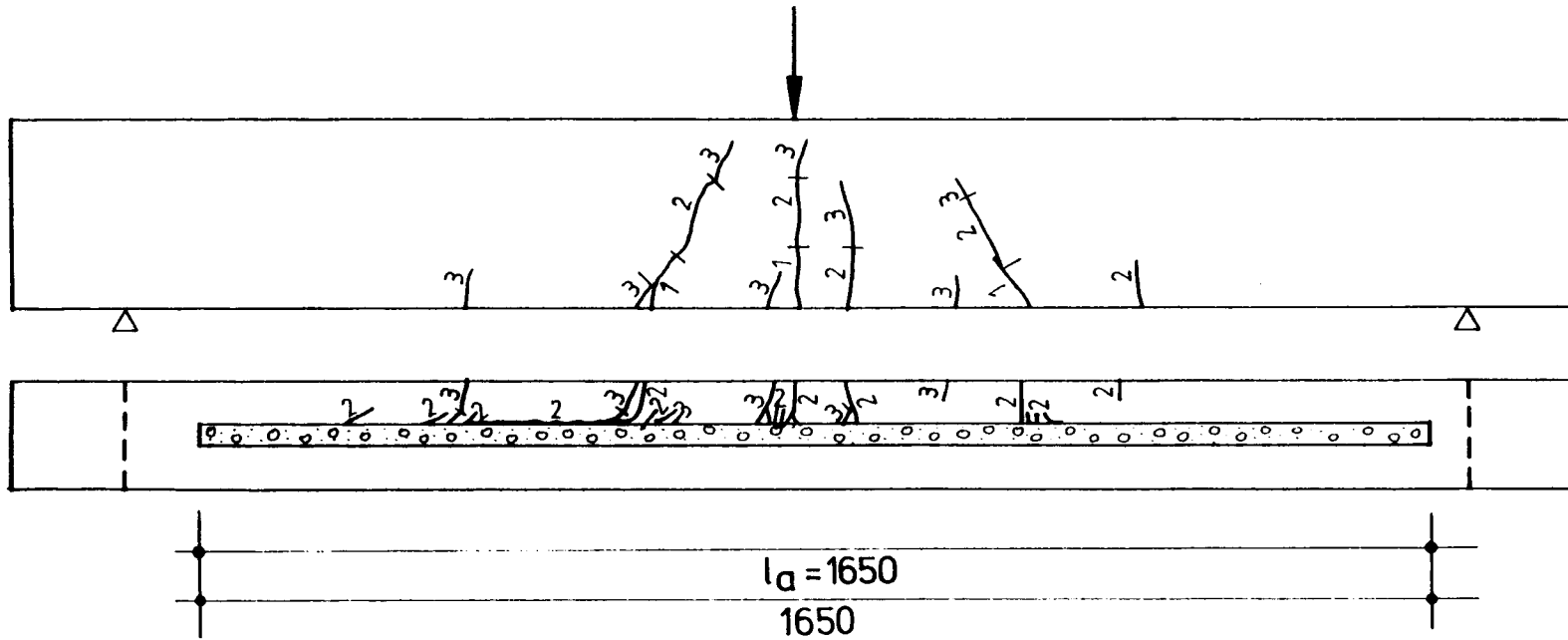
Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
10	1.277.700		
11	1.459.900		nach Bruch




Betonversagen




Klebstoffversagen

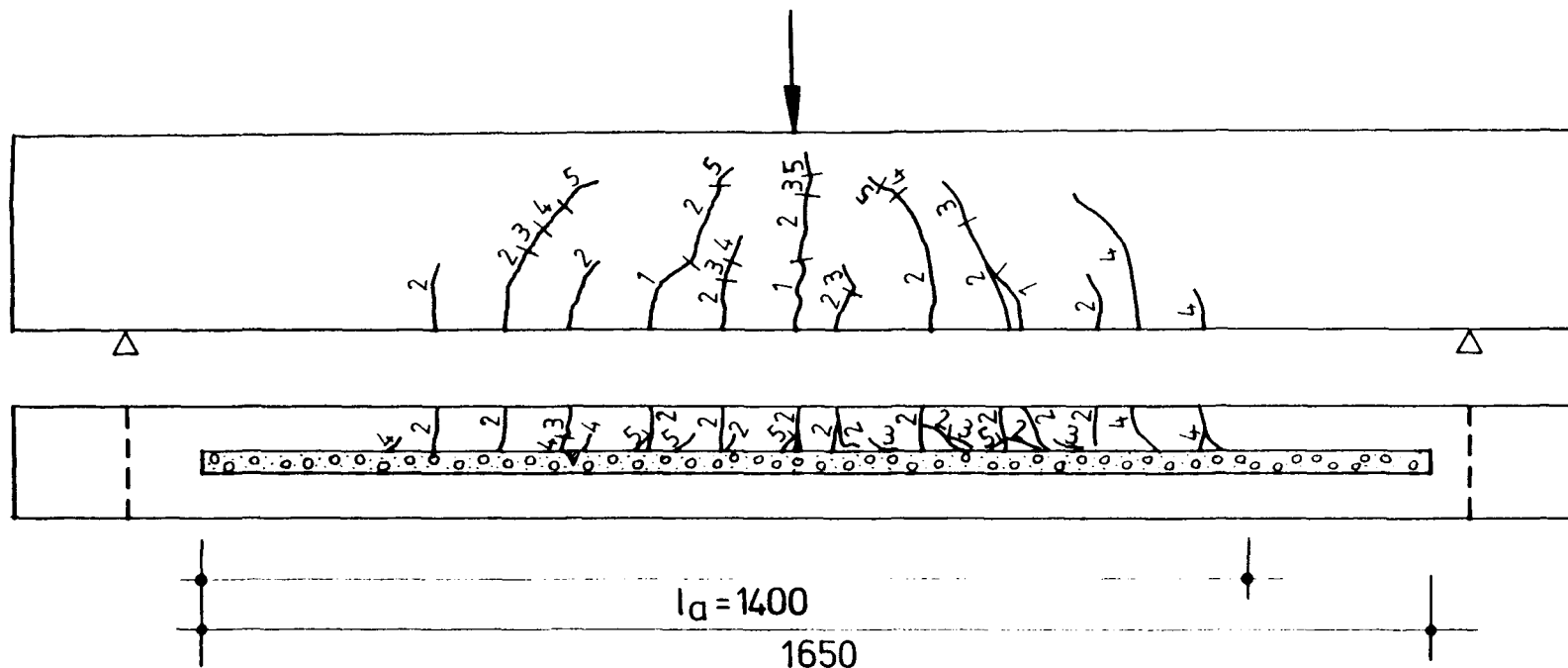


Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		40,0	Oberlast
2	1.000		
3	1.300		nach Bruch


 Betonversagen


 Klebstoffversagen

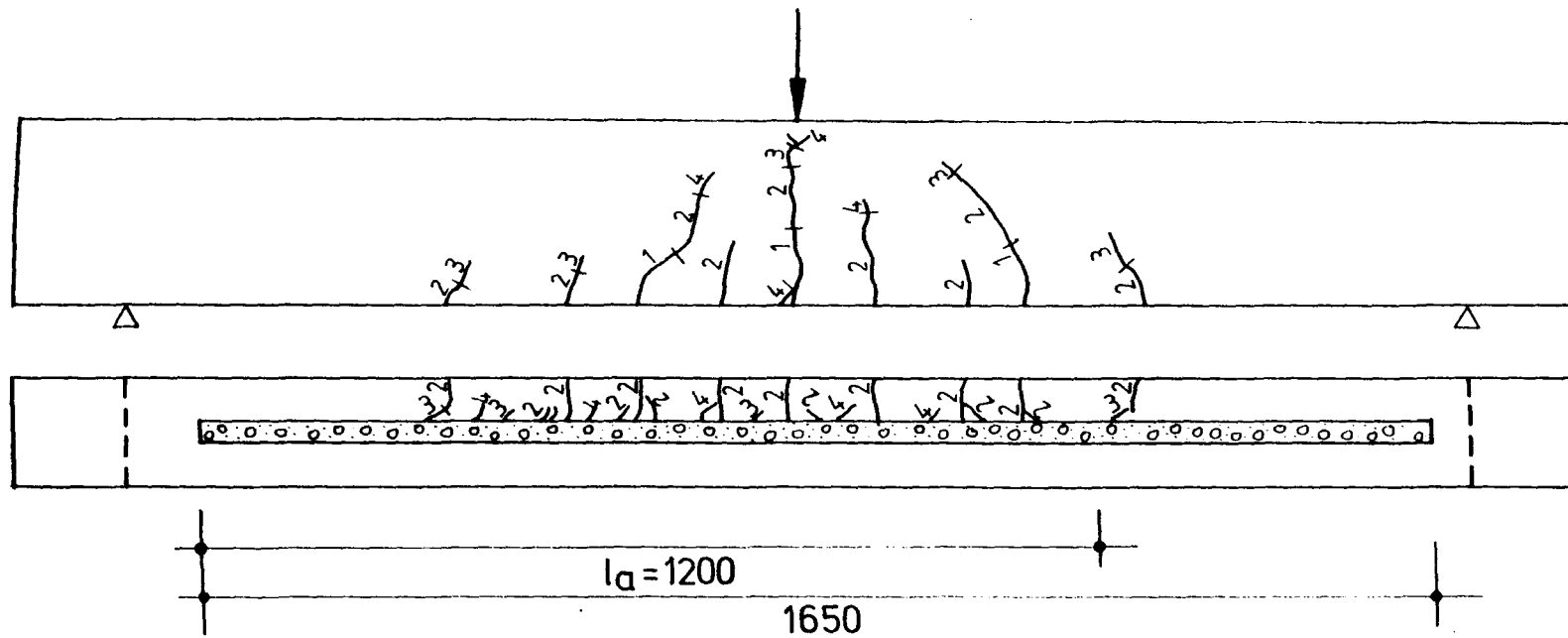
Versuch DYN40: RiBentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		40,0	Oberlast
2	500		
3	5.000		
4	25.000		
5	156.300		nach Bruch

 Betonversagen

 Klebstoffversagen



Bez.	LW	LS [kN]	Bemerkung
1		40,0	Oberlast
2	500		
3	5.000		
4	68.500		nach Bruch



Betonversagen



Klebstoffversagen

Versuch DYN42: Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Oberlast bzw. Lastwechselzahl

